

**PLANEACIÓN ÓPTIMA DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN BASADO EN
OPTIMIZACIÓN NO LINEAL ENTERA MIXTA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
PLANEACIÓN ÓPTIMA DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN BASADO EN OPTIMIZACIÓN
NO LINEAL ENTERA MIXTA.**

**AUTOR:
JOHN JAIRO PAILLACHO CALUPIÑA**

**TUTOR:
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

Quito, Diciembre 2019

John Jairo Paillacho Calupiña

PLANEACIÓN ÓPTIMA DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN BASADO EN OPTIMIZACIÓN NO LINEAL ENTERA MIXTA.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2019

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



John Jairo Paillacho Calupiña(Y'1993-M'02). Realizó sus estudios de secundaria en el “Instituto Tecnológico Superior Central Técnico” de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la planeación óptima de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión basado en optimización no lineal entera mixta.

jpaillacho@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza(Y'1981-SM12). Se graduó en 2010 y en la actualidad está trabajando para lograr su título de doctor en ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana – Medellín, Colombia. Es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del grupo de investigación GIREI (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group).

dcarrion@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2019 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Diego Francisco Carrión Galarza declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Planeación óptima de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión basado en optimización no lineal entera mixta* realizado por John Jairo Paillacho Calupiña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Diciembre 2019



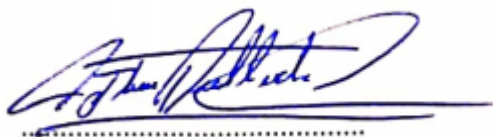
Diego Francisco Carrión Galarza
Cédula de identidad: 1713703062

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, John Jairo Paillacho Calupiña, con documento de identificación N° 1722594361, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “PLANEACIÓN ÓPTIMA DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN BASADO EN OPTIMIZACIÓN NO LINEAL ENTERA MIXTA ”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: John Jairo Paillacho Calupiña

Cédula: 1722594361

Fecha: Quito, Diciembre 2019

INDICE GENERAL

1.	Introducción	2
2.	Compensación de Potencia Reactiva	5
2.1	Compensadores en Serie	6
2.2	Compensadores en Paralelo	7
2.3	Compensadores Combinados	8
3.	Flujos Óptimos de Potencia (FOP)	8
3.1	Formulación matemática del FOP.	10
4.	Formulación del Problema.....	11
4.1	Modelo Matemático a optimizar	12
4.2	Procedimiento de resolución.....	13
5.	Análisis de Resultados	14
5.1	Modelo de la IEEE de 14 Nodos.....	14
5.2	Modelo de la IEEE de 30 Nodos.....	20
6.	Conclusiones	30
7.	Referencias.....	31
8.	Estado del Arte.....	35
8.1	Resumen e Indicadores	44
9.	Anexo.....	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación óptima de dispositivos compensadores en el SEP.....	5
Figura 2. Diagrama de un SVC.....	8
Figura 3. Sistema Eléctrico de 14 nodos.....	15
Figura 4. Ubicación Óptima del SVC caso 1, 2, 3,4 Escenario 1	15
Figura 5. Ubicación Óptima del SVC caso 1, 2, 3,4 Escenario 1	16
Figura 6. Perfiles de Tensión Escenario 1.....	17
Figura 7. Comportamiento Angular Escenario 1	17
Figura 8. Mejora de Potencia Reactiva en los nodos Escenario 1	19
Figura 9. Mejora de Potencia Reactiva en las líneas de transmisión Escenario 1	19
Figura 10. Minimización de Costos de Implementación del SVC Escenario 1	20
Figura 11. Pérdidas de Potencia por implementación del SVC	20
Figura 12. Modelo de 30 Nodos.....	21
Figura 13. Ubicación Óptima del SVC caso 1,2 Escenario 2	22
Figura 14. Ubicación Óptima del SVC caso 3,4 Escenario 2	22
Figura 15. Ubicación Óptima del SVC caso 5 Escenario 2	23
Figura 16. Perfiles de Tensión Escenario 2.....	23
Figura 17. Comportamiento Angular Escenario 2	26
Figura 18. Mejora de Potencia Reactiva en los nodos Escenario 2	27
Figura 19. Mejora de Potencia Reactiva en las líneas de transmisión Escenario 2	28
Figura 20. Minimización de Costos de Implementación del SVC Escenario 2	29
Figura 21. Minimización de Pérdidas en el SEP Escenario 2	30

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algoritmo para la planeación optima de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión basados en optimización no lineal entera mixta.	13
Tabla 2. Casos de estudio escenario 1.....	15
Tabla 3. Ubicación de los SVC para cada caso en el Escenario 1	15
Tabla 4. Tabla de resultados escenario 1 sistema 14 barras.....	16
Tabla 5. Porcentaje de mejora de los perfiles	18
Tabla 6. Porcentaje de mejora de la potencia.....	18
Tabla 7. Costos de Implementación del SVC en el Escenario 1	19
Tabla 8. Pérdidas de Potencia del SVC en el Escenario 1	20
Tabla 9. Casos de estudio escenario 2.....	21
Tabla 10. Porcentaje de mejora de los perfiles de.....	24
Tabla 11. Tabla de resultados escenario 2 sistema 30 barras.....	25
Tabla 12. Porcentaje de mejora de la Potencia Reactiva	29
Tabla 13. Costos de implementación del SVC en el escenario 2.....	29
Tabla 14. Pérdidas de Potencia del SVC en el escenario 2.....	30
Tabla 15. Niveles de voltaje en las barras del sistema.....	45
Tabla 16. Valores de la carga del sistema	45
Tabla 17. Datos de los transformadores del sistema	45
Tabla 18. Datos de los generadores del sistema.....	45
Tabla 19. Datos de las líneas del sistema.....	46
Tabla 20. Valores de la carga del sistema	47
Tabla 21. Niveles de voltaje en las.....	47
Tabla 22. Datos de los transformadores	47
Tabla 23. Datos de los generadores.....	47
Tabla 24. Datos de las Líneas del Sistema.....	48

PLANEACIÓN ÓPTIMA DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE TRANSMISIÓN BASADO EN OPTIMIZACIÓN NO LINEAL ENTERA MIXTA.

Resumen

En la actualidad la planeación óptima de potencia reactiva en los sistemas eléctricos cumple una de las funciones más importantes para el control, al tener como finalidad mejorar el margen de estabilidad del sistema eléctrico. La metodología de control de tensión y redistribución de los flujos en las líneas de transmisión tiene como objetivo principal alcanzar una mejora global en la seguridad y estabilidad del sistema. Para poder lograrlo, utiliza tres aspectos fundamentales: garantizar una buena calidad del servicio, establecer niveles adecuados de tensión y reservas de potencia reactiva, y realizar controles eficientes desde un punto de vista económico. En la planeación de potencia reactiva en los sistemas eléctricos de transmisión, es necesario la implementación de equipos compensadores, con lo cual se logre tener una mejora en el rango de tensión nodal y del componente reactivo.

El presente trabajo, muestra una metodología que permita reducir los costos de implementación de equipos compensadores, encontrando la ubicación óptima en el sistema mejorando su estabilidad al menor costo.

Palabras Clave: Flujos de potencia reactiva, Balance de potencia, Potencia reactiva, Estabilidad, Perfiles de tensión, Técnicas de optimización

Abstract

At present, the optimal planning of reactive power in the electrical systems fulfills one of the most important functions for the control, having to adjust the stability margin of the electrical system. The methodology of tension control and redistribution of the flows in the transmission lines has as main objective to achieve a global improvement in the security and stability of the system. To achieve this, use three fundamental aspects: request a good quality of service, establish voltage levels and reactive power reserves, and perform efficient controls from an economic point of view. In the planning of reactive power in the electrical transmission systems, the implementation of compensating equipment is necessary, thus achieving an improvement in the range of nodal voltage and the reactive component.

The present work shows a methodology that allows reducing the costs of implementing compensating equipment, finding the optimal location in the system, improving its stability at the lowest cost.

Keywords: Reactive power flows, Power balance, Reactive power, Stability, Voltage profiles, Optimization techniques.

1. Introducción

La planeación óptima de potencia reactiva en los sistemas eléctricos de transmisión [1], cumple una de las funciones más importantes para el control de la potencia, al tener como finalidad aumentar el nivel de la estabilidad del sistema. En este método de gestión de la potencia y control de tensión, su objetivo principal es alcanzar una mejora global en la seguridad del sistema [2]. Para lograrlo, utiliza tres aspectos fundamentales:

- Garantizar la calidad del servicio, a través del mantenimiento de las tensiones dentro de los límites permitidos.
- Establecer adecuados niveles de tensión y reservas de potencia reactiva, para mantener la integridad del sistema frente a contingencias críticas.
- Realizar controles eficientes desde un punto de vista económico, reduciendo los costes de explotación al disminuir la circulación de la potencia reactiva por la red y, por tanto, de las pérdidas en la misma [3].

Para la adecuada planeación óptima de potencia reactiva en los sistemas eléctricos de transmisión, es necesario la instalación previa de equipos de compensación.

Una de las funciones de los equipos de compensación de reactivos, en los sistemas eléctricos, es prevenir caídas de tensión considerables, tanto en contingencia como en condiciones normales de operación, ayudando a mejorar en la seguridad del sistema y en el control de tensión. Para el caso de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), la compensación de potencia reactiva disminuye el paso de potencia reactiva de la red de transmisión, con lo que se

proviene que se puedan producirse caídas de tensión considerables [4] – [7].

Se cuenta con diferentes equipos de compensación de potencia reactiva, que pueden ser utilizados para darle estabilidad a la red y seguridad al sistema, por lo que para tomar la decisión de que compensador elegir, es necesario realizar un estudio económico-técnico del asunto a tratar considerando un conjunto condiciones a las que se va a implementar el compensador, futuros escenarios; la variación de costes, y las distintas funciones del compensador, a continuación se detalla la compensación de potencia reactiva [5] – [8].

Se puede encontrar varios diagramas para encontrar la compensación de reactivos, muchos de los cuales muestran desigualdades prácticas en su estudio. Los compensadores reactivos se dividen de acuerdo al punto de vista de su aplicación en: esquemas dinámicos los cuales ajustan de manera continua su aportación de reactivos y esquemas pasivos que consisten de susceptancias fijas [5]–[8].

Por otro lado, se debe asegurar que la compensación de potencia reactiva sea suficiente, de tal manera que pueda mantener el control de voltaje en caso en que los elementos de transmisión requieran una gran cantidad de reactivos, tomando en cuenta períodos de demanda máxima y en contingencias severas (salida forzada de generadores o una línea de transmisión importante) [9]– [10].

Con la instalación de elementos como los Sistemas Flexibles FACTS, la operación del sistema se vuelve más resiliente, incrementando la estabilidad de la red a través de las tensiones y del control del flujo de potencia en los nodos. Los FACTS son dispositivos electrónicos de potencia, cuyos beneficios son: su mínimo costo en el

mantenimiento, transmisión y operación; así como una mejor confiabilidad y operación del SEP, y el incremento de la capacidad de transferencia de energía eléctrica [11].

La técnica para encontrar la óptima ubicación de los equipos FACTS, se fundamenta en el concepto de capacidad de transferencia de potencia máxima de las líneas y nodo [12]– [15].

Otro compensador de potencia reactiva es, el Compensador Estático (SVC), que por su menor costo con respecto a otros dispositivos, es la mejor opción que se puede utilizar para mejorar la estabilidad de un SEP. El SVC es usado para compensar energía reactiva de rápida acción en los SEP, este dispositivo nos brinda un control de tensión de forma muy rápida y muy eficiente también mejora el componente reactivo en el SEP; los niveles de tensión, y el ángulo de tensión [16] – [18].

Para que exista un debido balance de potencia reactiva consumida y potencia reactiva generada, es necesario que la estabilidad de tensión en el SEP sostenga valores admisibles de niveles de tensión en todos los nodos, el dispositivo SVC realiza este balance al realizar el control de tensión en el nodo automáticamente. Su forma de operar es que al momento de existir tensión baja en algún nodo el dispositivo inyectará reactivos, y cuando se tenga niveles de tensión altos absorberá los reactivos manteniendo en equilibrio el sistema [19] - [21].

El SVC puede brindar muchas ventajas, sin embargo se debe tener en cuenta la cantidad instalada de estos dispositivos, no pueden ser implementados en todos los nodos del SEP, ya que, a pesar de su menor costo en relación a otros sistemas, su valor es alto, por esta razón se utilizan métodos de optimización para localizar la ubicación óptima de estos dispositivos [22].

En [23] se utiliza una técnica de optimización que se basa en la búsqueda de armonía para poder obtener la ubicación óptima y el número óptimo de dispositivos compensadores STATCOM en una parte de la red eléctrica. Esta técnica además de encontrar la ubicación, el número y tamaño de los dispositivos STATCOM, es capaz de minimizar las pérdidas del sistema.

En [24] se basa en un algoritmo genético (GA), el cual aplica una interfaz gráfica de usuario (GUI), que es capaz de encontrar la ubicación óptima y los parámetros del tamaño de varios tipos de dispositivos FACTS, en grandes sistemas de energía. El proceso basado en optimización GA, se aplica para encontrar ubicaciones y clasificaciones óptimas de los dispositivos FACTS que son seleccionados los cuales maximizan la capacidad de carga estática del sistema. Los cinco diferentes dispositivos FACTS que se implementan son: SVC, TCSC, TCVR, TCPST y UPFC.

En [25] propone un método que se basa en la técnica de índice de sensibilidad a la pérdida (LSI), el cual reduce la pérdida total de energía en el sistema, incrementa la capacidad de transferencia (ATC) y el perfil del sistema aumenta en términos de tensión y flujo de energía. LSI basado en la reducción, se utiliza para la ubicación óptima de FACTS [26].

En [27] a fin de poder determinar la ubicación y tamaño óptimo de los compensadores de potencia reactiva de derivación, como SVC y STATCOM, se emplea la utilización del algoritmo de búsqueda de armonía global (NGHS). Este método produce una mayor mejora de la estabilidad de voltaje y mayores reducciones en la pérdida de energía, el costo total y la desviación del voltaje, además que converge más rápido que los métodos IHS y PSO.

El problema óptimo de despacho del SVC, se plantea en base a un problema de optimización multiobjetivo restringido no lineal, donde la pérdida de potencia real y la estabilidad de tensión se optimizan simultáneamente. El problema óptimo de despacho del SVC es optimizar el rendimiento en estado estable de un sistema de energía en términos de una o más funciones objetivas; y al mismo tiempo satisfacer varias restricciones de igualdad y desigualdad [8]

Dentro de la optimización en sistemas de potencia, uno de los elementos más importantes se relaciona mediante la resolución del despacho óptimo de potencia reactiva en base a un elemento específico. Al agregar el mismo inconveniente de configuración en la red, las líneas de transmisión de la red y las restricciones operacionales de las plantas, se presenta un problema de flujo óptimo de potencia (FOP). Al realizar un FOP se pueden obtener ventajas como:

- Añadir limitaciones eléctricas de operación reales.
- Hacer un análisis preciso de las pérdidas.
- Ingresar criterios de operación.
- Agregar distintas variables de control (taps de transformadores, tensión en los nodos de generación, etc.)

El FOP también es un procedimiento para minimizar el costo total de generación o la pérdida de energía, permite calcular voltajes, ángulos, potencias activas y reactivas; además puede mejorar el flujo de potencia en equipos como transformadores y líneas de transmisión [28] - [29].

El FOP se lo puede utilizar de muchas maneras: la planificación de la potencia reactiva (RPP), dificultades del sistema de energía, (planificación de la

expansión de la transmisión / generación), y la planificación de la expansión de la distribución [30].

En un modelo lineal FOP-AC, la transformación de linealización involucra muchas técnicas como la teoría de expansión de series de Taylor, el enfoque de discretización de expansión binaria, la aproximación lineal por tramos y otras técnicas simples. El método proporciona una imagen más precisa y real de los flujos de potencia activa y reactiva junto con el perfil de tensión de la red [26]- [30].

La Figura 1 es el diagrama esquemático de la planificación para la localización óptima de equipos SVC en los sistemas de transmisión, con la finalidad de beneficiar la componente reactiva, los niveles de tensión en los nodos, y el ángulo de tensión en el SEP.

En [22]–[25] utilizan diferentes metodologías, con la cuales se puede encontrar la ubicación óptima y la capacidad de dispositivos compensadores de potencia reactiva. Esta implementación de estos dispositivos ayuda al sistema eléctrico a minimizar pérdidas, maximizar la carga estática, mejorar el perfil de tensión, mejorar el flujo de energía, etc. Todos estos métodos buscan la ubicación óptima mediante algoritmos realizados en programas computacionales, objetivo de análisis del trabajo actual, el cual busca una mejora global de la seguridad del sistema teniendo adecuados perfiles de tensión y reservas de potencia reactiva, para mantener la integridad del sistema frente a contingencias críticas mediante la localización de dispositivos de compensación. Para determinar la ubicación óptima del dispositivo compensador de potencia reactiva SVC se utiliza un algoritmo basado en programación no lineal entera mixta (MINLP). En este trabajo se tendrá diferentes casos de estudio en donde se

busca minimizar costos, reducir pérdidas, mejorar los perfiles de tensión nodales y mejorar el componente reactivo en el sistema.

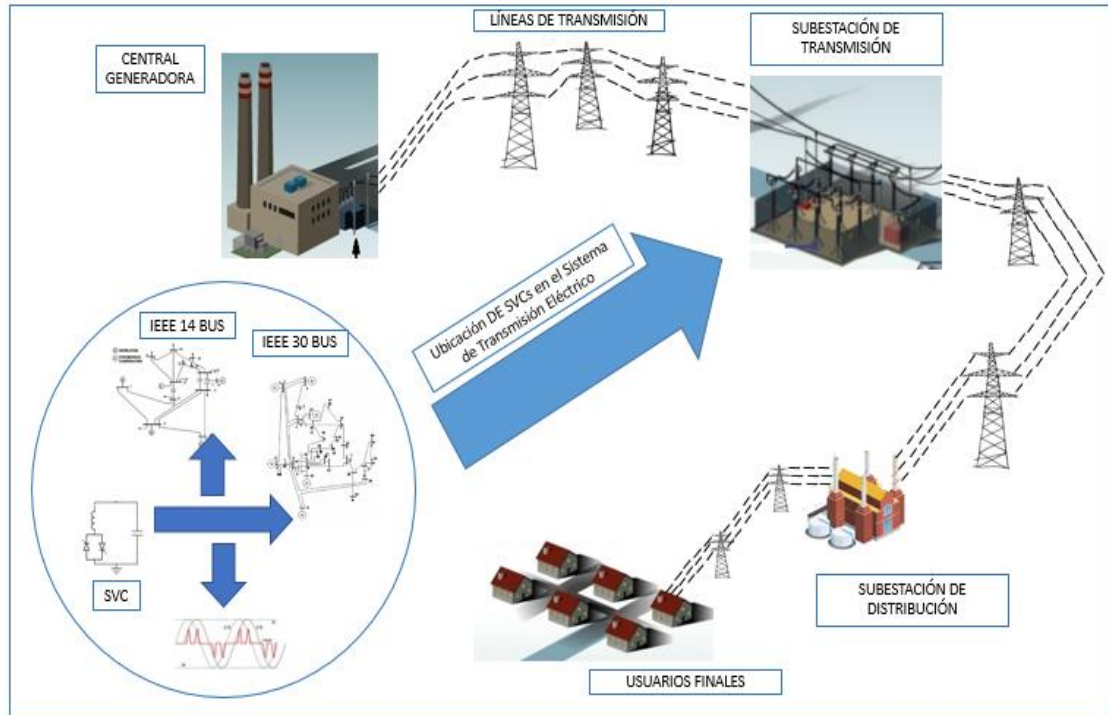


Figura 1. Ubicación óptima de dispositivos compensadores en el SEP

El presente trabajo está modelado por secciones ordenadas de la siguiente manera:

En la sección 2 se define la compensación de la potencia reactiva en un SEP, objeto de análisis del presente estudio, también se define la compensación en serie, en paralelo y compensadores combinados.

En la sección 3 se define y se formula los FOP en el SEP. En la sección 4 se explica las variables a utilizar para realizar la formulación del problema y el algoritmo aplicado para hacer la optimización. En la sección 5 se presenta la solución de los resultados obtenidos en el presente trabajo. Y en la sección 6 las conclusiones conseguidas en la investigación y los

trabajos futuros que puedan realizarse a base de esta investigación.

2. Compensación de Potencia Reactiva

Los flujos de potencia reactiva en la red de transmisión poseen un impacto directo en la conducta de la tensión del sistema, los incrementos de potencia reactiva son capaces de provocar degradaciones en dicho perfil [31], para evitarlo, es necesario conseguir el control de la tensión adecuada, con perfiles de voltaje que sean uniformes, evitando en lo posible la circulación de potencia reactiva en la red de transmisión. Para prevenir inestabilidad y colapsos de tensión se requiere el control Q , este control, se basa mediante el abastecimiento de

potencia reactiva al sistema y la disminución de la demanda [1] - [32]- [8].

Al hablar de suministro de potencia, se refiere a la compensación reactiva, método utilizado con mayor frecuencia en los últimos años. Este método, trata de la localización de equipos de compensación reactiva en los nodos del SEP, verificando las tensiones, brindando estabilidad y confiabilidad al sistema, además de ser muy eficiente [1]- [29], [30]. A continuación se muestran la clasificación de los compensadores:

2.1 Compensadores en Serie

Los compensadores en serie son usados para reducir la reactancia inductiva en las líneas de transmisión. Los beneficios de conectar en serie los compensadores son: aumentar los márgenes de estabilidad del sistema, mejorar la división de la carga en las vías en paralelo, aumentar la amplitud de ajuste en los niveles de carga de las líneas, disminuir las pérdidas del sistema de transmisión y reducir la caída de voltaje durante contingencias [33]. Los compensadores en serie de clasifican de la siguiente manera:

- *Compensador Serie Conmutado por Tiristores (TSSC)*
- *Compensador Serie Controlado por Tiristores (TCSC)*
- *Compensador Serie de VAR Estático (SSVC)*
- *Compensador Serie Sincrónico Estático (SSSC)*
- *Reactor serie controlado por tiristores (TCSR)*
- *Compensadores por ángulo de fase (TCPAR)*

2.1.1 Compensador Serie Conmutado por Tiristores (TSSC)

Este compensador está formado por un conjunto de bancos de condensadores en serie, unidos en shunt con un tiristor interruptor, para suministrar la reactancia capacitiva en forma de saltos, además hay que agregar que es un compensador de reactancia capacitiva [34]- [35].

2.1.2 Compensador Serie Controlado por Tiristores (TCSC)

El TCSC es un dispositivo FACTS, producto de la necesidad de disminuir la impedancia serial, con el fin de transmitir mayor potencia [32] - [33].

2.1.3 Compensador Serie de VAR Estático (SSVC)

El propósito del compensador SSVC es proporcionar un medio de generación o asimilación de reactivos, con el fin de sostener perfiles apropiados de tensión y extender los límites de estabilidad del SEP [32] - [33] .

2.1.4 Compensador Serie Sincrónico Estático (SSSC)

El SSSC está compuesto por un inversor de estado sólido que suministra una tensión regulable en cuadratura con la corriente de la línea, imitando un resultado de reactancia capacitiva o inductiva, con la finalidad de influenciar en el flujo de potencia en la línea de la transmisión, de esta manera se consigue extender los límites del sistema y también mejorar ciertos parámetros de operación [32] - [33] .

2.1.5 Reactor serie controlado por tiristores (TCSR)

El TCSR está conformado por bancos de reactores en serie acopladas en shunt, con un tiristor controlable, para suministrar de forma reservada reactancia capacitiva en serie variable [32] - [33].

2.1.6 Compensadores por ángulo de fase (TCPAR)

El TCPAR se trata de un compensador de reactancia inductiva, que esta combinado en serie con la línea y en paralelo junto a un reactor, manejado por tiristores. Estos equipos consiguen una continua variación de la reactancia inductiva [32] - [33].

2.2 Compensadores en Paralelo

Los compensadores en paralelo, mejoran la transferencia de potencia activa en el momento en el que inyectan potencia reactiva en la línea de transmisión, lo que ocasiona que los niveles de tensión se mantengan dentro de los límites aceptables. Se diferencia de los compensadores en serie ya que suministran señales de corriente al sistema eléctrico en el punto de conexión.

La utilización de la potencia activa por medio de estos componentes, estará condicionada por los ángulos de desfase, como los compensadores en serie [31] .Los compensadores en paralelo se clasifican de la siguiente manera:

- *Reactor Controlado por Tiristores (TCR)*
- *Condensador Conmutado por Tiristores (TSC)*
- *Compensador Estático de VAR (STATCOM)*

- *Generador Síncrono Estático (SVG)*
- *Compensador de VAR Estático (SVC)*

2.2.1 Reactor Controlado por Tiristores (TCR)

El TCR forma parte de los SVC, por lo tanto en el tiempo de conducción, la corriente de un reactor Shunt es manejada por tiristores con control del ángulo de disparo [32] – [33].

2.2.2 Condensador Conmutado por Tiristores (TSC)

El TCS es asimismo forma parte de los SVC, está apoyado en tiristores que actúan como interruptores de corriente alterna, autorizando unificar o desconectar los condensadores conectados en Shunt, de manera que facilite ejecutar el cambio en la potencia reactiva suministrada al sistema [32] – [33].

2.2.3 Compensadores Estáticos Síncronos (STATCOM)

Es un compensador, que opera como un SVC cuya corriente de salida inductiva o capacitiva se la puede controlar de manera independiente al sistema de corriente alterna de voltaje [32] – [33].

2.2.4 Generador Síncrono Estático (SVG)

El SVG es un compensador de potencia inductiva o capacitiva y su funcionamiento se basa en suministrar corriente de manera contraria para oponerse a la potencia que no se utiliza de la instalación [32] – [33].

2.2.5 Compensador de VAR Estático (SVC)

Estos equipos son utilizados en los sistemas de transmisión con la finalidad de mejorar la estabilidad y capacidad en el sistema. El control de tensión es de manera rápida y progresiva, este procedimiento se lo hace por medio de la compensación o absorción de la potencia reactiva[16].

Este dispositivo está conformado por componentes utilizados en electrónica de potencia, como lo son las TCR o TCR y por condensadores TCS. En la Figura 2 se muestra el diagrama para un SVC, donde se introduce los elementos previamente mencionados. Los SVC cuando están trabajando en modo capacitivo inyectan potencia reactiva y cuando trabaja en modo inductivo absorben potencia reactiva [27].

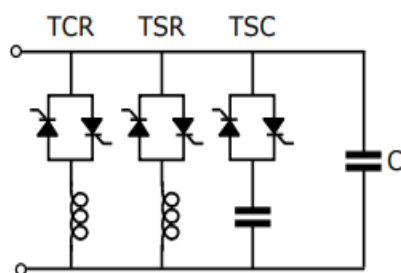


Figura 2. Diagrama de un SVC

El SVC se ubica en los nodos en donde se requiere mejorar el nivel de voltaje a un nivel aceptable, considerando ciertas limitaciones, como la cantidad de potencia reactiva obtenida y los niveles de tensión que son aceptados en el nodo [36].

No se puede colocar un SVC o cualquier otro tipo de compensador en el nodo en donde exista un generador [34].

2.3 Compensadores Combinados

El controlador combinado reúne los usos de los compensadores en paralelo y en serie, obteniendo mejores cualidades técnicas y económicas [21].

Dentro de los compensadores combinados se encuentran:

- Controlador Interlínea de Flujos de Potencia, (IPFC)
- Controlador Unificado de Flujos de Potencia Generalizado, GUPFC (GUPFC)
- Controlador Unificado de Flujos de Potencia, UPFC

Una de la características de los controladores interlineas y los controladores unificados generalizados, es que pueden supervisar la potencia de dos o más redes de transmisión [1] - [21].

3. Flujos Óptimos de Potencia (FOP)

El problema de los FOP cuenta con un conjunto de restricciones no lineales y una función objetivo, que manifiestan la operación del sistema en estado estable. El FOP tiene una dificultad matemática grande y compleja, cuyo fin es la minimización de generación de potencia [26] – [38], este debe cumplir con dos objetivos principales, que son:

- Mantener una segura operación en el sistema.
- Establecer el despacho óptimo de generación al menor costo.

Lo anterior se logra mediante la minimización de la función objetivo y combinando diferentes sistemas de control, considerando las restricciones de desigualdad e igualdad usadas para

modelar las ecuaciones de balance de potencia activa y reactiva, y diferentes límites operativos.

Entre las funciones a considerarse están:

- *Minimización del costo de combustible.*
- *Planificación VAR.*
- *Minimización de pérdidas del sistema.*

La principal área donde se utiliza el FOP es en la planeación y operación de los SEP. La solución del FOP determina los valores óptimos del conjunto de variables tanto de control como de estado sujetas a las restricciones que gobiernan los SEP [39] – [40].

El FOP, a diferencia de los flujos de potencia convencionales (enfocados en determinar el estado del sistema), permite optimizar un objeto concreto resolviendo las ecuaciones del sistema eléctrico para conseguir el valor de ciertas variables de control; de esta forma cuantifica la función escalar de las variables del problema [38].

Los flujos de potencia AC (FOP-AC) tienen un alto grado de precisión en los cálculos; sin embargo la velocidad es baja en la resolución. Para el estudio de despacho de los SEP, no es necesaria una alta precisión en los cálculos, por su complejidad y no linealidad. Los resultados pueden opacar los parámetros de correlación. La velocidad de resolución es de mayor preocupación en los sistemas eléctricos a gran escala [37]–[39].

Por otro lado, los flujos de potencia DC (FOP-DC) son muy utilizados, al ser más simples y por ser una aproximación de la conversión AC (análisis lineal de circuitos más simple). Rigiéndose al uso de la

potencia activa (MW) y reactiva (VAR) son mínimas.

Los Flujos Óptimos de Potencia (FOP) se limitan a encontrar la configuración óptima de una red de sistema de potencia, pues ésta optimiza el sistema de funciones objetivo: coste total de generación, pérdida del sistema, desviación de tensión de bus, emisión de unidades de generación, número de acciones de control y eliminación de cargas al tiempo que satisface las ecuaciones de flujo de energía, la seguridad del sistema y los límites de operación del equipo. Los métodos utilizados para resolver flujos se muestran a continuación [41]:

- ***Problemas lineales:*** *Donde los objetivos y limitaciones se encuentran de forma lineal y con variables de control continuos.*
- ***Problemas no lineales:*** *Donde los objetivos y restricciones no son lineales con variables de control continuos.*
- ***Problemas de enteros mixtos lineales:*** *Los que incluyen dos variables de control discretas y variables de control continua.*

Para encontrar un punto de operación óptimo en un SEP es común hacer previamente el despacho económico y luego la minimización de pérdidas.

En la ejecución de sistemas de potencia, el poder desarrollar el despacho económico y la minimización de pérdidas, o los dos juntos a la vez, convierten al FOP en un modelo potente y útil. Asimismo de realizar una programación adecuada para las centrales de generación, se puede lograr mantener un buen perfil de tensión en toda red mediante las limitaciones que se implanten al flujo óptimo, lo cual permitirá que el sistema funcione en las mejores condiciones para una carga determinada [42].

3.1 Formulación matemática del FOP.

Matemáticamente, cierto tipo de optimización se basa en encontrar el valor óptimo (máximo o mínimo) de una función objetivo, siempre y cuando en el FOP se ejecute con un grupo de restricciones de igualdad y desigualdad. Para este caso la optimización, es una minimización asociada a costos de implementación. A fin de que esta sea posible, se necesita de un grupo de variables de control y de la formulación de funciones objetivos [40].

Para obtener un FOP éste estará formado por una función objetivo y un conjunto de restricciones como se detalla a continuación:

- *Función objetivo de costos:* La función objetivo para realizar despachos económicos pertenece a la minimización de costos de generación. La ecuación (1) representa la función objetivo de un FOP:

$$\min \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (1)$$

Donde:

- | | |
|-----------------|--|
| a_i, b_i, c_i | Coeficientes de costo de la generación de energía activa en el nodo i (\$ / MW ² h, \$ / MWh, \$ / h) |
| P_{gi} | Potencia activa de generación en el nodo i. |

- *Restricciones de Balance de Potencia:* El balance de potencia activa y reactiva será realizado para cada nodo que conforme el sistema; para decir que el sistema está balanceado es necesario que la

cantidad de potencia que está ingresando sea igual a la cantidad de potencia que está circulando en el propio nodo. Las ecuaciones (2) y (3) describen los balances para n nodos:

$$P_{gi} - P_{di} = V_i^2 G_{ii} + \sum_{j=1}^N V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}] \quad (2)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = V_i^2 B_{ii} + \sum_{j=1}^N V_i V_j [G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}] \quad (3)$$

Donde:

- | | |
|------------------|--|
| P_{gi}, Q_{gi} | Potencia activa y reactiva de generación en el nodo i. |
| P_{di}, Q_{di} | Potencia activa y reactiva de carga en el nodo i. |
| V_i, V_j | Voltaje en el nodo i y el nodo j, respectivamente |
| δ_{ij} | Ángulo en el nodo i y j. |
| G_{ii} | Matriz propia de conductancia nodal. |
| B_{ii} | Matriz propia de susceptancia nodal. |
| G_{ij} | Matriz mutua de conductancia nodal. |
| B_{ij} | Matriz mutua de susceptancia nodal. |

- *Límites de generación de potencia activa:* Puesto que se encuentran varias causas económicas y técnicas (como las pérdidas de calor y la estabilidad dinámica que existen en el sistema), la potencia de los generadores tiene permanecer en

ciertos rangos de funcionamiento, restringiendo, de esta manera, la productividad de potencia activa generada en el sistema. La ecuación (4) describe este límite de potencia activa.

$$P_{gi,min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,max} \quad (4)$$

Donde:

P_{gi} Potencia activa de generación en el nodo i.

- *Límites de generación de potencia reactiva:* Dado que a causas técnicas de la potencia reactiva en los generadores, sus niveles de funcionamiento son establecidos por su curva de capacidad. La ecuación (5) explica este límite de potencia reactiva.

$$Q_{gi,min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,max} \quad (5)$$

Donde:

Q_{gi} Potencia reactiva del generador en el nodo i.

- *Límites de niveles de tensión en los nodos:* A fin de lograr que el sistema marche de una forma estable, se considera tener que las tensiones de los nodos se encuentren dentro de valores nominales de operación. La ecuación (6) muestra la limitación de tensión:

$$V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max} \quad (6)$$

Donde:

V_i Voltaje en el nodo i.

- *Límites de los ángulos de fase en los nodos:* Los ángulos se deben encontrar dentro de los límites aceptables para la operación del sistema eléctrico, para lo cual van a depender del funcionamiento constante de las líneas. La ecuación (7) especifica los límites mínimos y máximos de los ángulos en el sistema:

$$\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max} \quad (7)$$

Donde:

δ_i Ángulo en el nodo i.

4. Formulación del Problema

Para la resolución del problema, se cuenta con un algoritmo matemático que permite la planeación óptima de flujos de potencia reactiva en base a un proceso de optimización, minimizando los costos y las pérdidas asociadas a la implementación de dispositivos electrónicos SVC; este algoritmo se basa en programación no lineal entera mixta (MINLP).

La formulación del problema tiene una distribución global, conformada por dos funciones objetivos que minimiza los costos y las pérdidas asociadas a la implementación del SVC; adicionalmente, el problema se encuentra bajo ciertas restricciones de balance de potencia, límites de generación de potencia, límites de tensión de los nodos y límites de ángulo de fase de los nodos, restricciones que serán lineales y no lineales, de igualdad o desigualdad [26]. Los límites mínimos y máximos de tensión se consideran en el rango de 0.9 pu a 1.1 pu y los límites mínimos y máximos de

ángulo fase se encuentra en el rango -35° a $+35^\circ$, estos rangos de operación garantizarán una correcta operación del sistema eléctrico. En el algoritmo se considera una potencia base ($S_b=100$ MVA) y se define como barra slack (barra infinita) el nodo 1 el cual tiene una magnitud de tensión de 1 pu y un ángulo de fase de 0° , en los sistemas eléctricos planteados. Se considera como capacidades máximas de los SVC a ser instalados en los sistemas: 15, 20, 25 y 30 Mvar, potencias estándares bajo ciertas normas que rigen en el país, estas potencias se utilizarán en cada caso de estudio. Para encontrar la ubicación óptima del dispositivo compensador SVC se considera una variable binaria, la cual selecciona él o los nodos de ubicación. A continuación se irá detallando el procedimiento.

4.1 Modelo Matemático a optimizar

Mediante las restricciones del problema y la función objetivo, anteriormente descritas en los FOP, el modelo matemático a ser determinado para la planeación óptima de flujos de potencia reactiva obtendrá la localización óptima del SVC en el sistema de transmisión propuesto. El modelo está determinado por:

- *Función Objetivo:*

$$FO1 = \min \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + \sum_{i=1}^N Q_{svci} Z_i u_i \quad (8)$$

Donde:

Q_{svci}	Capacidad de instalación del SVC en el nodo i
Z_i	Costo de la instalación del SVC en el nodo i
u_i	Variable binaria de selección de ubicación del SVC

$$FO2 = \min \sum_{i=1}^N P_{gi} - \sum_{i=1}^N P_{di} \quad (9)$$

- *Bajo las restricciones:*

$$P_{gi} - P_{di} = V_i^2 G_{ii} + \sum_{i=1}^N V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}] \quad (10)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} + Q_{svci} = V_i^2 B_{ii} + \sum_{i=1}^N V_i V_j [G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}] \quad (11)$$

$$V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max} \quad (12)$$

$$\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max} \quad (13)$$

$$P_{gi,min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,max} \quad (14)$$

$$Q_{gi,min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,max} \quad (15)$$

4.2 Procedimiento de resolución

Con el fin de determinar el problema de optimización propuesto, se emplea el software (General Algebraic Modeling System) GAMS, el cual, mediante la incorporación de datos de los nodos, las características de las líneas de transmisión y las propiedades de las cargas en los nodos resuelve este modelo de optimización, computando, para el efecto, lo que se conoce como flujo óptimo de potencia y determinando, así, la óptima ubicación del SVC.

Mediante la utilización de GAMS se pueden estudiar varias opciones de ubicación del compensador, iniciando el análisis sin compensación del dispositivo SVC hasta la cantidad de modelos necesarios; esto con el objeto de valuar la solidez del modelo propuesto.

En la Tabla 1, se muestra la metodología para la solución del modelo de optimización propuesto.

Los sistemas utilizados para realizar las simulaciones y el análisis de los sistemas eléctricos se toman de la IEEE [43]- [44]- [45]; en donde el primer sistema eléctrico consta de 14 nodos, 20 líneas de transmisión, 11 cargas eléctricas, 5 generadores y 5 transformadores.

El segundo sistema es de 30 nodos, 6 generadores, 4 transformadores, 41 líneas de transmisión, 21 cargas eléctricas, y 2 bancos de condensadores. Sin embargo, en esta simulación, no es necesidad el uso de los bancos de capacitores, ya que la finalidad es compensar el sistema eléctrico con la ubicación óptima del SVC [1].

Los datos de los sistemas eléctricos planteados se encuentran en los Anexos.

Tabla 1. Algoritmo para la planeación óptima de flujos de potencia reactiva en sistemas eléctricos de transmisión basados en optimización no lineal entera mixta.

Paso 1	Adquisición de los datos del sistema eléctrico.
Paso 2	Valores iniciales de las variables eléctricas.
	Determinación de la Y de bus $Y_{ij} = Y_{ij} \cos \delta_{ij} + j Y_{ij} \sin \delta_{ij}$ $= G_{ij} + j B_{ij}$ <p>Donde:</p> $G_{ij} = \frac{X}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$ $B_{ij} = \frac{R}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$
Paso 3	Matriz de Admitancia Mutua $[Y_{in}] = -Y_{in} \angle \delta_{in}$ <p>Matriz de Admitancia Propia</p> $[Y_{ii}] = \sum_{j=1}^N -Y_{in} \angle \delta_{in}$
	Problema de Optimización en GAMS Minimización de la Función Objetivo $\min \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2$ $+ \sum_{i=1}^N Q_{svci} Z_i u_i$ $\min \sum_{g=1}^N P_{gi} - \sum_{i=1}^N P_{di}$
Paso 4	Set Restricciones de igualdad $P_{gi} - P_{di}$ $= V_i^2 G_{ii} + \sum_{i=1}^N V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}]$ $Q_{gi} - Q_{di} + Q_{svci}$ $= V_i^2 B_{ii} + \sum_{i=1}^N V_i V_j [G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}]$
	Set Restricciones de desigualdad $V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max}$ $\delta_{i,min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,max}$ $P_{g,min} \leq P_g \leq P_{g,max}$ $Q_{g,min} \leq Q_g \leq Q_{g,max}$
Paso 5	Análisis de resultados
Paso 6	Fin

5. Análisis de Resultados

Para la resolución se emplea un ordenador Sony VAIO CORE I5 con un procesador Intel(R) Core(TM) I5-3337U CPU @ 1.80 GHz 1.80 GHz, que cuenta con una RAM de 6 GB y un sistema operativo de 64 bits. Y los modelos se los calculó en: GAMS la versión 24.1.3 este programa utiliza el solver BONMIN mediante (MINLP), la versión utilizada de MATLAB es 2018b, para realizar FOP y comparar los datos entregados por GAMS, se ejecuta Digsilent Power Factory versión 15.1.7.

La simulación es para cada uno de los sistemas de 14 y 30 nodos. En cada sistema se tiene un escenario conformado por 5 casos de estudio, manteniendo los parámetros iniciales de los sistemas eléctricos de la IEEE. En cada uno de los sistemas mencionados podemos comparar los perfiles de tensión, el comportamiento angular, los costos al implementar un SVC (variando su capacidad de potencia y al no tener un SVC en el sistema). En las siguientes secciones se detallan las variaciones de los perfiles de tensión y la minimización de los costos en cada caso de estudio.

5.1 Modelo de la IEEE de 14 Nodos

El sistema eléctrico basado en el modelo de la IEEE consta de: 14 nodos, 20 líneas de transmisión, 11 cargas eléctricas, 5 generadores y 5 transformadores. La Figura 3 representa el diagrama unifilar del sistema eléctrico [26]- [44].

El escenario está conformado por 5 casos; en cada caso se evalúan diferentes capacidades de potencia del SVC con el fin de observar los cambios

que existen en los perfiles de tensión, la mejora angular, la mejora de la potencia reactiva, los costos y las pérdidas de potencia minimizadas al implementar el SVC en el sistema eléctrico. La información de los datos técnicos del sistema se localiza en el Anexo 1 [26].

5.1.1 Escenario 1

En este escenario se tienen 5 casos de estudio. En cada caso se simula un FOP con diferentes capacidades de implementación del SVC y se comparan los perfiles de tensión antes y después de la compensación reactiva. Los casos de estudio y las potencias se muestran en la Tabla 2.

5.1.2 Ubicación Óptima del SVC en el modelo de la IEEE de 14 Nodos

En la Figura 4 se muestra la ubicación óptima del SVC para los casos 1, 2, 3 y 4, en donde es en el nodo 9; y, para el caso 5, en los nodos 7, 9 y 13 como se muestra en la Figura 5.

5.1.3 Mejora de los Perfiles de Tensión en el SEP

En la Figura 6 se muestran los perfiles de tensión de los 5 casos antes y después de la compensación reactiva en cada caso. Al implementar los SVC en cada caso, se observa que los perfiles de tensión aumentan al variar la potencia de compensación con respecto al sistema cuando se encuentra operando sin compensación, este aumento de voltaje en los nodos ocasiona que el sistema se vuelva más estable y, por lo tanto, más robusto.

En la Tabla 3 se define que para los casos 1-4 la ubicación es el nodo 9 y

para el caso 5 en los nodos 7, 9 y 13; esto se da porque se busca la implementación de 3 compensadores en el sistema eléctrico. La implementación del SVC ocasiona mejoras en los perfiles de tensión que se las puede ver en la Tabla 5. Los resultados de los perfiles de tensión obtenidos por el optimizador GAMS, se comparan con los resultados obtenidos en la simulación realizada en Digsilent Power Factory lo que comprueba que el sistema simulado es confiable, esta comparación se muestra en la Tabla 4.

Tabla 2. Casos de estudio escenario 1

Caso	Q(Mvar)	Cantidad de SVC a implementar
1	15	1
2	20	1
3	25	1 SVC</td
4	30	1 SVC</td
5	15,20,25	3

Tabla 3. Ubicación de los SVC para cada caso en el Escenario 1

Caso	Q(Mvar)	Nodo de ubicación del SVC
1	15	9
2	20	9
3	25	9
4	30	9
5	15,20,25	7,9,13

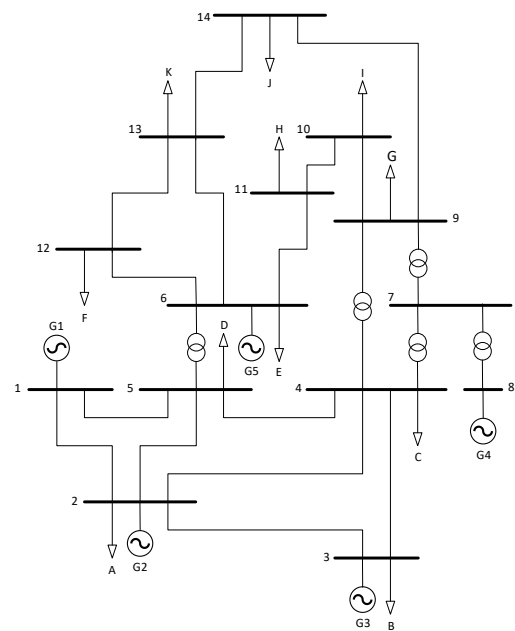


Figura 3. Sistema Eléctrico de 14 nodos

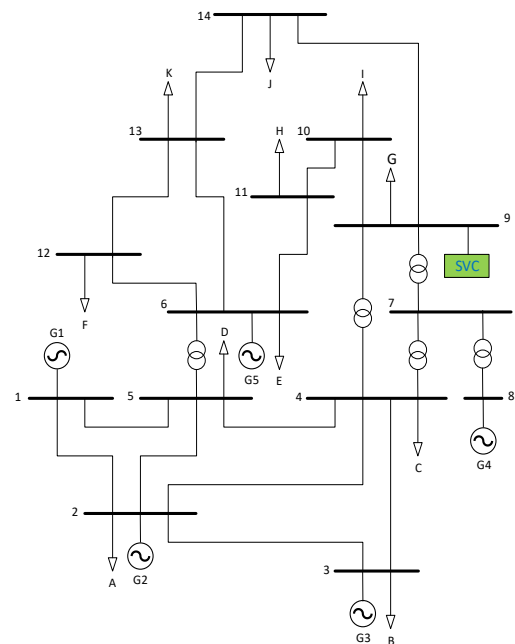


Figura 4. Ubicación Óptima del SVC caso 1, 2, 3,4 Escenario 1

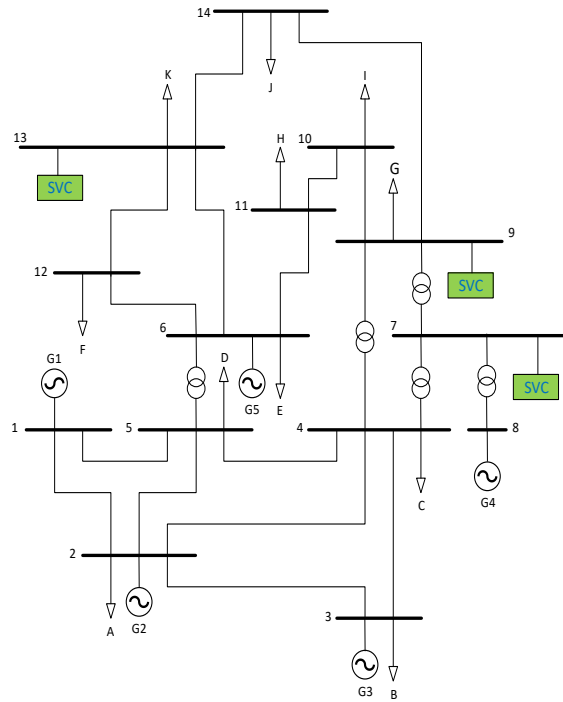


Figura 5. Ubicación Óptima del SVC caso 1, 2, 3,4 Escenario 1

Tabla 4. Tabla de resultados escenario 1 sistema 14 barras

NODO	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT	GAMS	DIGSILENT
	SIN SVC	CON SVC	SVC 15 MVAR	SVC 15 MVAR	SVC 20 MVAR	SVC 20 MVAR	SVC 25 MVAR	SVC 25 MVAR	SVC 30 MVAR	SVC 30 MVAR	SVC 15,20,25 MVAR	SVC 15,20,25 MVAR
1	1.060	1.06	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060
2	1.045	1.04	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045
3	1.010	1.01	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
4	1.029	1.03	1.044	1.035	1.045	1.036	1.045	1.036	1.046	1.037	1.049	1.039
5	1.036	1.02	1.050	1.030	1.050	1.031	1.051	1.031	1.051	1.032	1.053	1.036
6	1.070	1.07	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070
7	1.046	1.04	1.057	1.054	1.059	1.057	1.062	1.059	1.064	1.062	1.078	1.078
8	1.090	1.09	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090
9	1.028	1.02	1.046	1.046	1.051	1.051	1.056	1.056	1.061	1.061	1.068	1.068
10	1.028	1.02	1.042	1.043	1.046	1.047	1.051	1.051	1.055	1.055	1.061	1.061
11	1.045	1.04	1.052	1.053	1.054	1.055	1.056	1.057	1.059	1.059	1.062	1.062
12	1.053	1.05	1.055	1.054	1.055	1.055	1.055	1.055	1.056	1.056	1.063	1.063
13	1.046	1.04	1.048	1.049	1.049	1.050	1.050	1.050	1.051	1.051	1.064	1.064
14	1.018	1.01	1.029	1.029	1.032	1.032	1.035	1.036	1.038	1.039	1.049	1.049

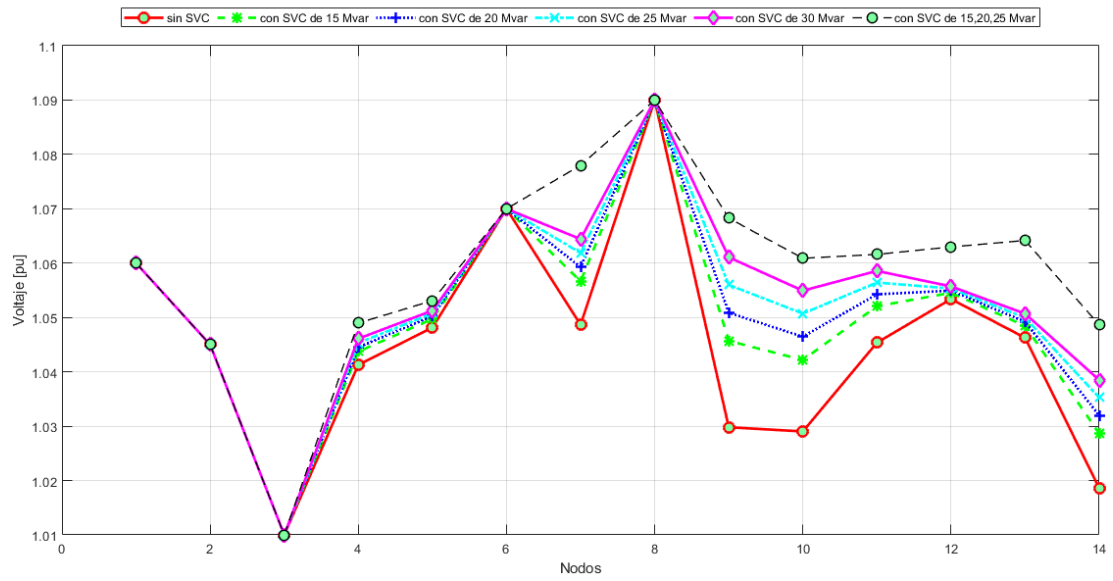


Figura 6. Perfiles de Tensión Escenario 1

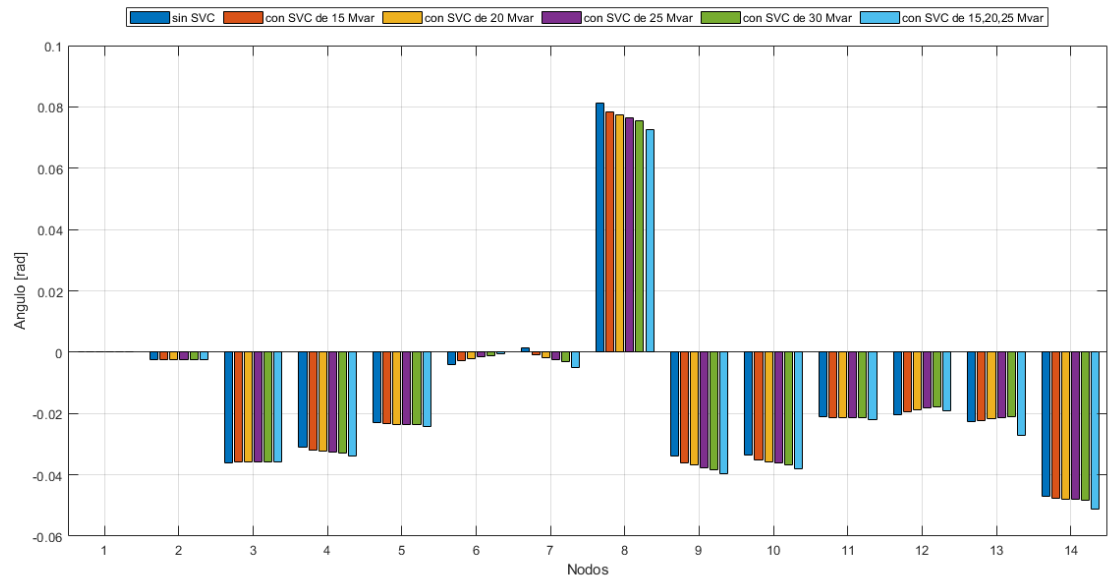


Figura 7. Comportamiento Angular Escenario 1

Tabla 5. Porcentaje de mejora de los perfiles de tensión

NODO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
1	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	1%
5	0%	0%	0%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	0%
7	1%	1%	1%	2%	3%
8	0%	0%	0%	0%	0%
9	2%	2%	3%	3%	4%
10	1%	2%	2%	3%	3%
11	1%	1%	1%	1%	2%
12	0%	0%	0%	0%	1%
13	0%	0%	0%	0%	2%
14	1%	1%	2%	2%	3%

Tabla 6. Porcentaje de mejora de la potencia reactiva

NODO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
1	0%	1%	1%	2%	3%
2	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%
5	0%	6%	8%	10%	17%
6	7%	0%	0%	0%	0%
7	5%	0%	0%	0%	6%
8	5%	0%	0%	0%	0%
9	0%	9%	12%	15%	16%
10	2%	0%	0%	0%	0%
11	4%	0%	4%	0%	0%
12	0%	0%	0%	0%	0%
13	2%	0%	0%	0%	3%
14	0%	0%	0%	0%	0%

5.1.4 Comportamiento Angular del SEP

Se comprueba que mediante la implementación del SVC, el ángulo del flujo de potencia se estabiliza provocando una mejora angular y conlleva a que el sistema eléctrico mantenga su sincronismo y esté en equilibrio, como se observa en la Figura 7.

5.1.5 Efectos de la compensación reactiva en el SEP

Al implementar los SVC en cada caso de estudio se está mejorando el componente reactivo en el sistema, lo que ocasiona que aumenten de los perfiles de tensión nodales y se reduzcan las pérdidas potencia en el sistema eléctrico. En la Figura 8 se muestra el crecimiento de la potencia reactiva en cada nodo, para cada caso y en la Figura 9 se visualiza la potencia reactiva en las líneas de transmisión en el SEP.

Como se puede observar en la Tabla 6, en el nodo en donde se ubica el SVC para los casos 1, 2, 3 y 4 se tiene una mejora de compensación reactiva y para el caso 5 existe una mejora en los nodos 7, 9 y 13 en donde se ubicarán los dispositivos compensadores.

5.1.6 Minimización de Costos de Implementación de SVC en el SEP

En este análisis los costos de implementación varían de acuerdo a la potencia de compensación que va ser instalada en el sistema.

En la Tabla 7 y Figura 10 se pueden observar los costos minimizados en GAMS para cada caso de estudio con respecto al sistema, sin ser compensado, y se puede observar que, en el caso 5, se tiene un mayor costo debido a la cantidad de dispositivos a ser instalados y en el caso 2 se tiene un menor costo de instalación, que sería el caso más factible para implementar el SVC [26].

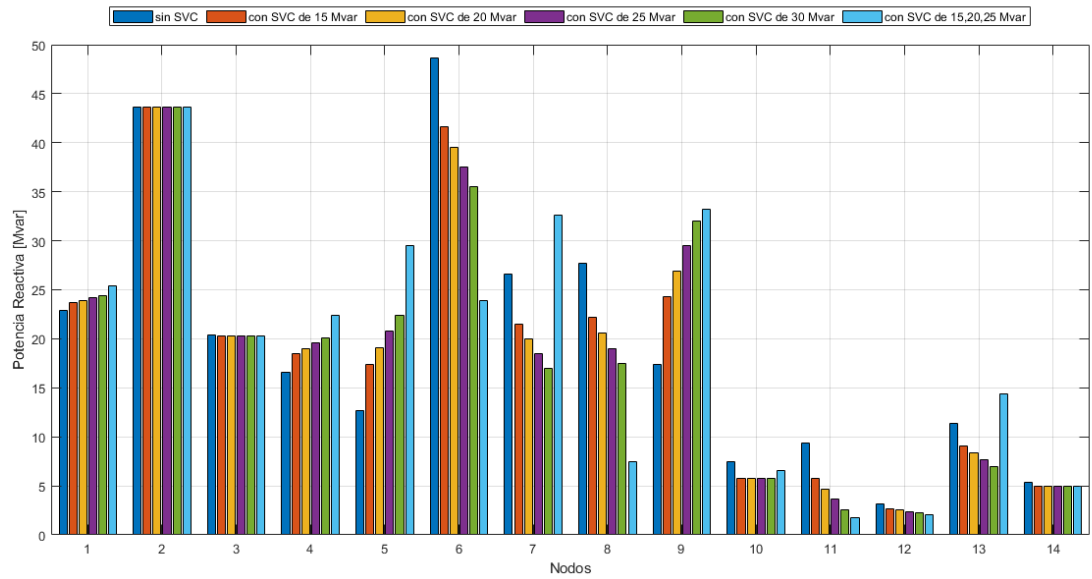


Figura 8. Mejora de Potencia Reactiva en los nodos Escenario 1

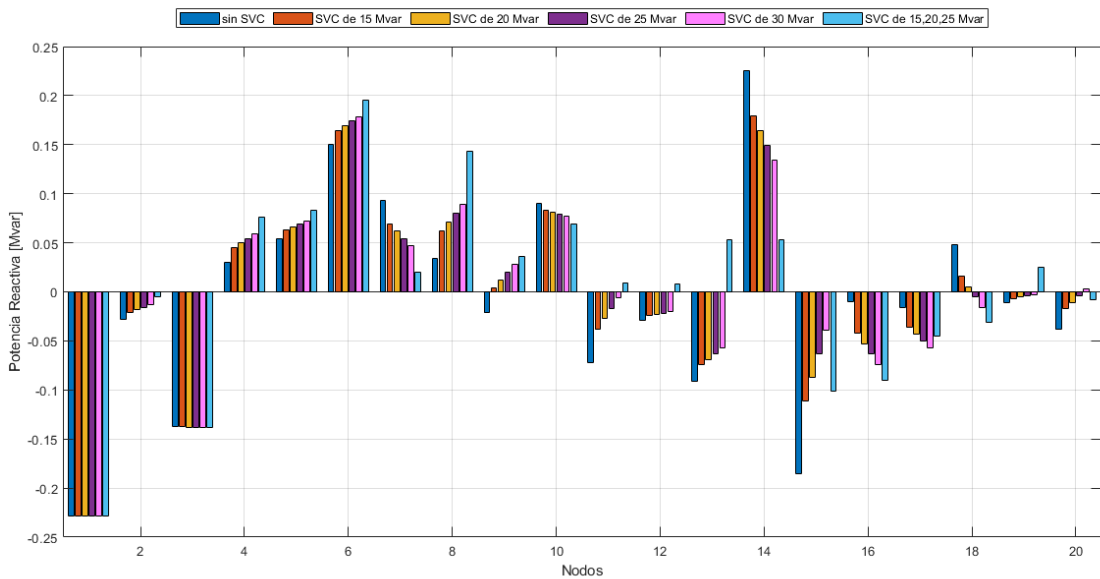


Figura 9. Mejora de Potencia Reactiva en las líneas de transmisión Escenario 1

Tabla 7. Costos de Implementación del SVC en el Escenario 1

CASO	Q(Mvar)	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN
	0	677,938.97
1	15	679,180.58
2	20	679,159.40
3	25	679,182.36
4	30	679,248.19
5	15, 20, 25	679,507.51

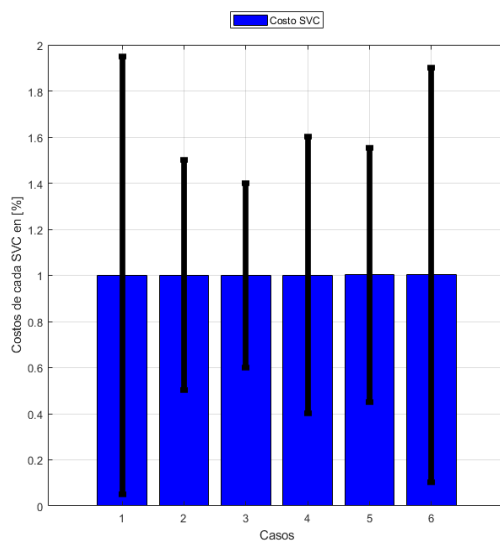


Figura 10. Minimización de Costos de Implementación del SVC Escenario 1

5.1.7 Minimización de Pérdidas de Potencia Activa en el SEP

Al implementar los SVC, no sólo mejoran los perfiles de tensión, sino también minimizan las pérdidas en el sistema, ocasionando que sea más estable y proporcione mayor confiabilidad y seguridad. Como se observa en la Tabla 8 y en la Figura 11, las pérdidas del sistema en todos los casos son menores al sistema sin compensación, esto se explica porque al inyectar potencia reactiva favorece a re-direccionar el flujo de potencia, aumentando la distribución de la potencia activa y, a la vez, minimiza las pérdidas de la misma.

Tabla 8. Pérdidas de Potencia del SVC en el Escenario 1

CASO	Q(Mvar)	PÉRDIDAS EN EL SISTEMA
	0	1.8381
1	15	1.7765
2	20	1.7723
3	25	1.7765
4	30	1.7896
5	15,20,25	1.8387

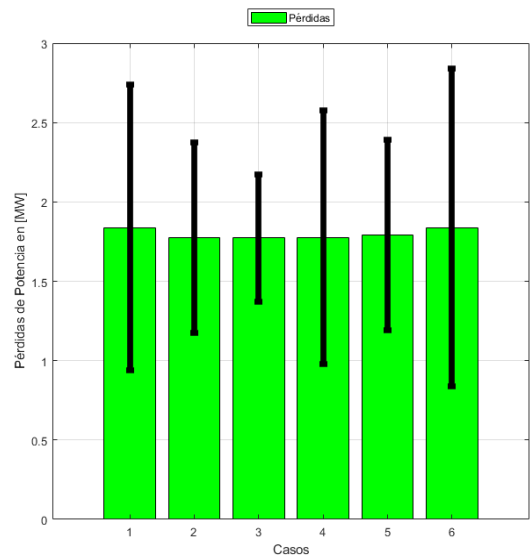


Figura 11. Pérdidas de Potencia por implementación del SVC

5.2 Modelo de la IEEE de 30 Nodos

Para realizar el análisis del sistema de la IEEE de 30 nodos, se utilizarán los datos técnicos del Anexo 2. Este sistema cuenta con 30 nodos, 6 generadores, 4 transformadores, 41 líneas de transmisión, 21 cargas eléctricas, y 2 bancos de condensadores.

Los datos anteriormente mencionados van a ser utilizados para la solución del modelo de optimización formulado mediante GAMS y el algoritmo definido en la sección 4. Este sistema es más complejo que el modelo de 14 nodos, y tiene un mayor número de variables que introducir en el optimizador y simular el FOP. Como se ha definido anteriormente, se va a utilizar Digsilent Power Factory.

El segundo escenario está conformado por 5 casos, como en el modelo de 14 nodos. En cada caso se evaluará el sistema eléctrico con una diferente capacidad de potencia del SVC y se podrán observar los cambios que existen en los perfiles de tensión, la estabilidad de los ángulos, la mejora de

la potencia reactiva y los costos minimizados; al ubicar, de manera óptima, el compensador en el sistema eléctrico.

En la Figura 12 se observa el diagrama unifilar [46] de este sistema,

conformado por nodos, líneas de transmisión eléctrica, generadores, cargas y transformadores en este modelo a analizar [26].

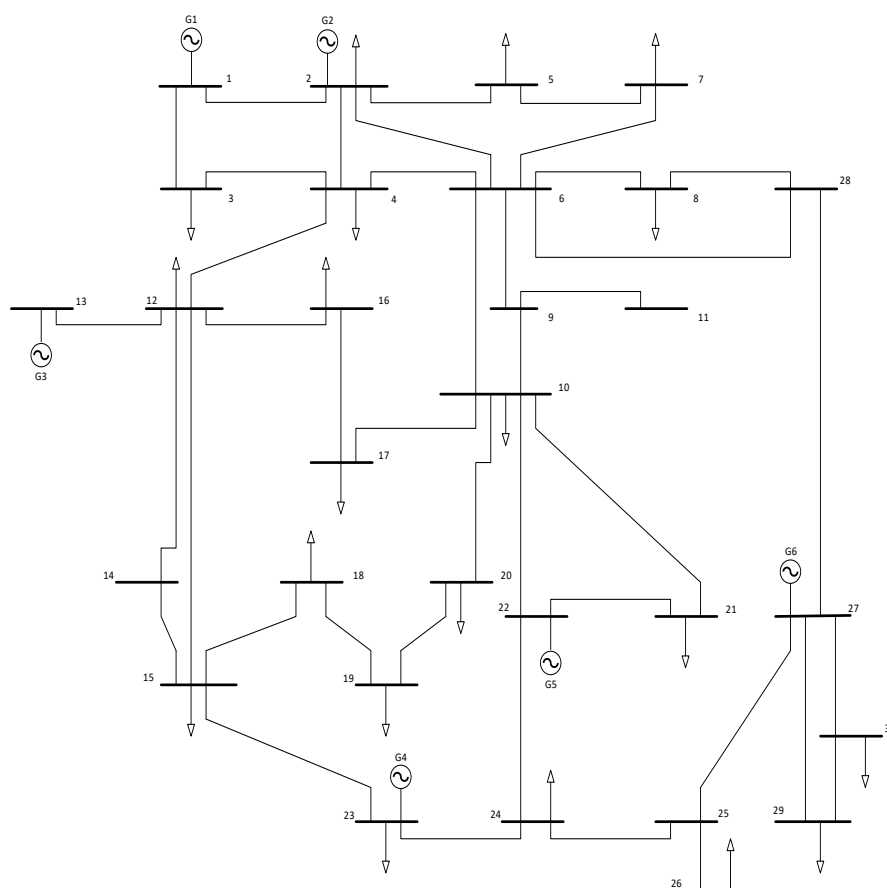


Figura 12. Modelo de 30 Nodos

5.2.1 Escenario 2

Este escenario está conformado por 5 casos de estudio en donde, para cada uno, se realiza un FOP con respecto al sistema sin compensar, la Tabla 9 muestra los casos de estudio.

para el caso 3 y 4, al aumentar la potencia de compensación reactiva, el optimizador selecciona para la implementación del SVC el nodo 21, esto se indica en la Figura 14; en la Figura 15 se observa la ubicación para el caso 5, en este caso el optimizador escoge los nodos 9, 21 y 27.

5.2.2 Ubicación Óptima del SVC en el modelo de la IEEE de 30 Nodos

Para el modelo de 30 nodos, la ubicación óptima del SVC para los casos 1 y 2 se muestra en la Figura 13, en donde se implementa en el nodo 24;

Tabla 9. Casos de estudio escenario 2

CASO	Q(Mvar)	Cantidad de SVC a implementar
1	15	1
2	20	1
3	25	1
4	30	1
5	15, 20, 25	3

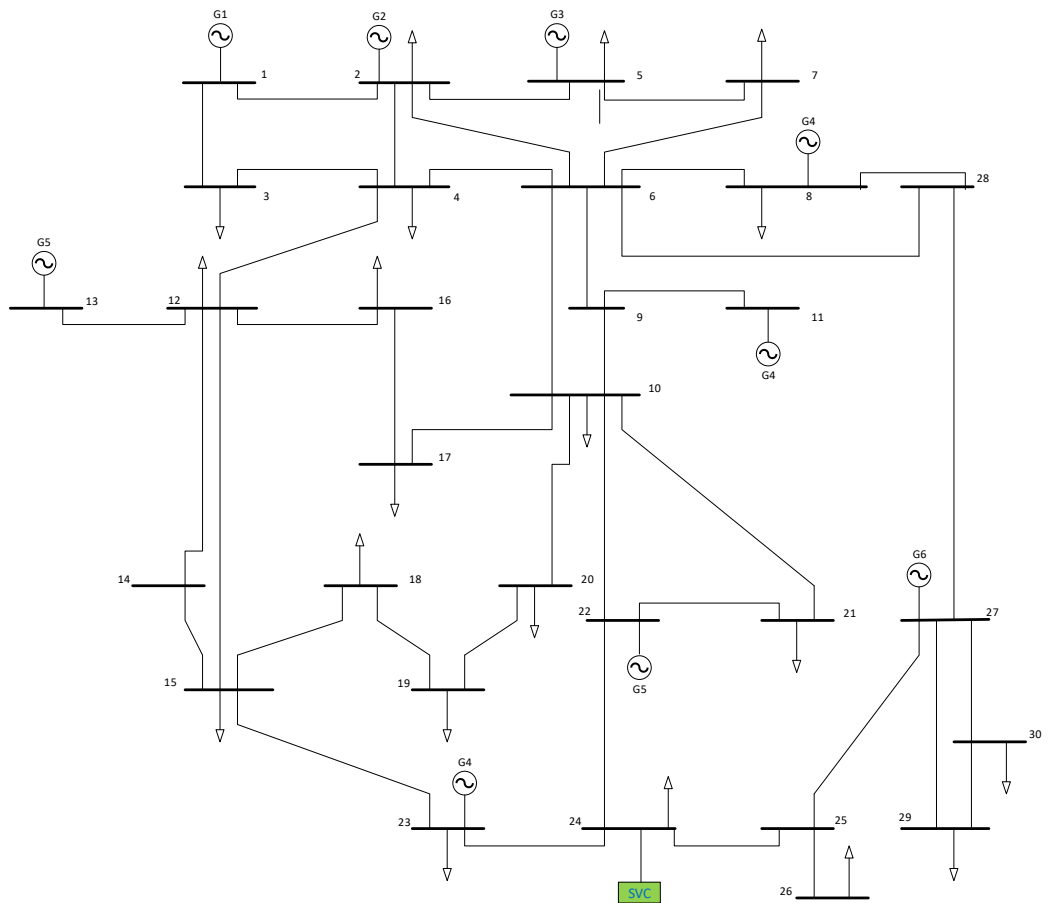


Figura 13. Ubicación Óptima del SVC caso 1,2 Escenario 2

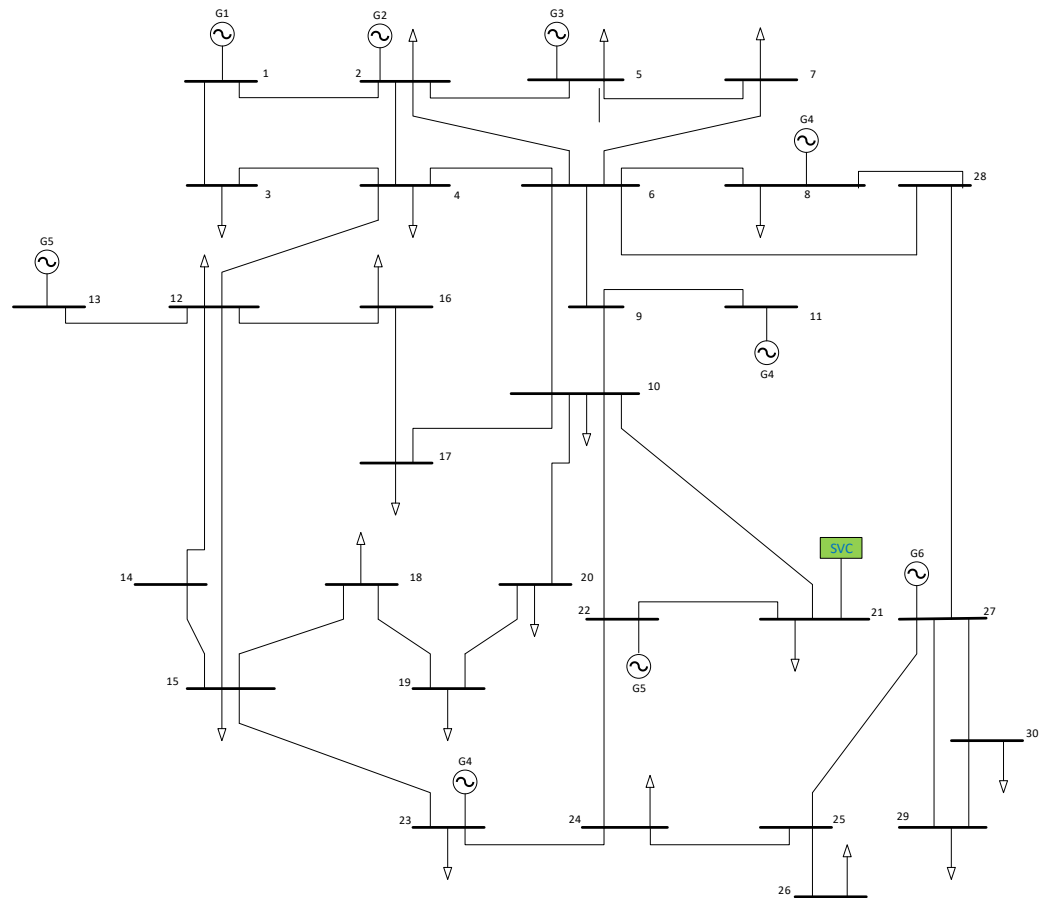


Figura 14. Ubicación Óptima del SVC caso 3,4 Escenario 2

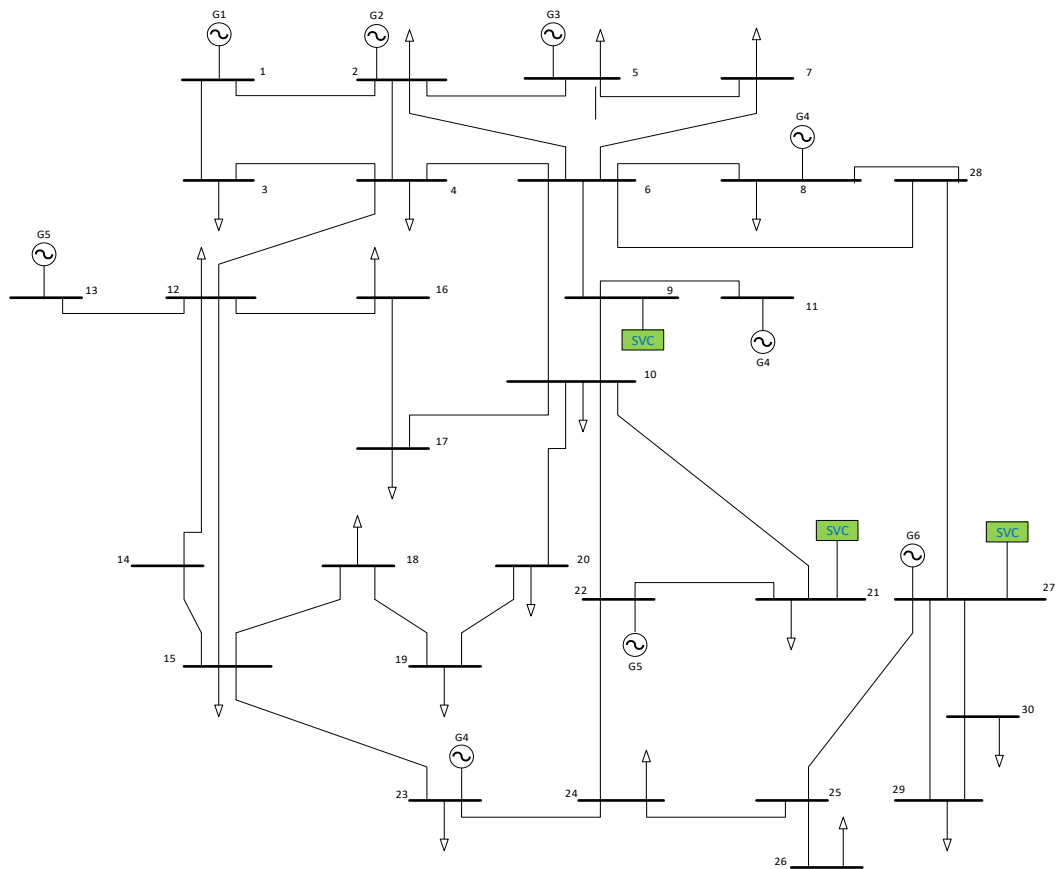


Figura 15. Ubicación Óptima del SVC caso 5 Escenario 2

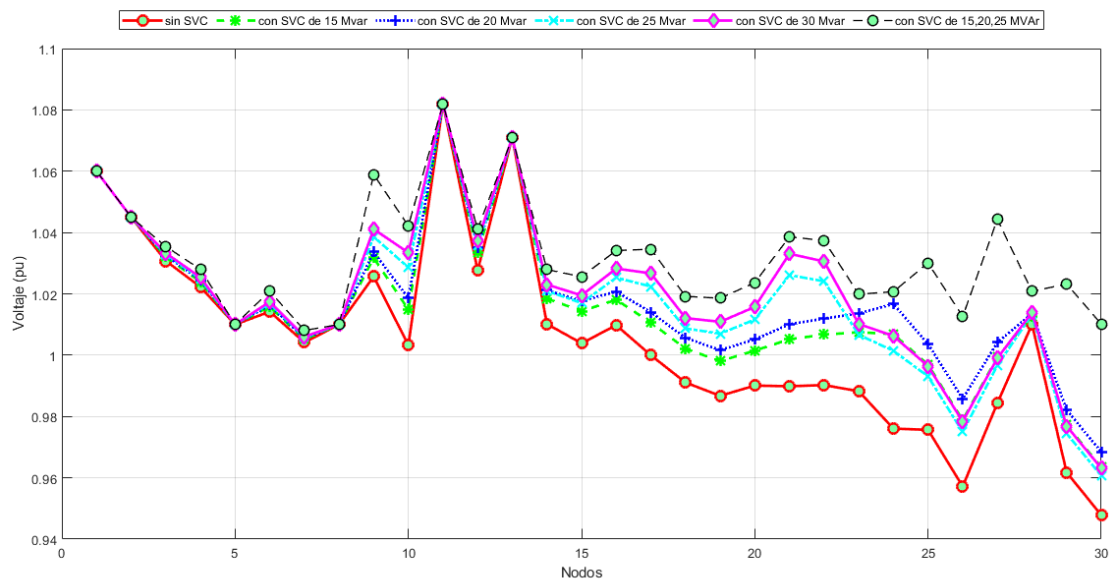


Figura 16. Perfiles de Tensión Escenario 2

5.2.3 Mejora de los Perfiles de Tensión en el SEP

Las potencias de SVC seleccionadas para este análisis FOP en GAMS se escoge los datos de la Tabla 9. Este software mediante un proceso iterativo,

selecciona la ubicación óptima del SVC. Para el caso 1 y 2 la mejor ubicación es el nodo 24; en el caso 3 y 4 la ubicación cambia ya que la potencia de compensación reactiva es mucho mayor que los dos casos anteriores (para este caso el escogido es el nodo 21); en cambio, en el caso 5, el

software selecciona la ubicación óptima en los nodos 9, 21, 27, ya que, para este caso, se busca la implementación de 3 compensadores de potencia reactiva.

Tabla 10. Porcentaje de mejora de los perfiles de tensión

NODO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
1	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	1%
5	0%	0%	0%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	1%
7	0%	0%	0%	0%	0%
8	0%	0%	0%	0%	0%
9	1%	1%	1%	2%	3%
10	1%	2%	3%	3%	4%
11	0%	0%	0%	0%	0%
12	1%	1%	1%	1%	1%
13	0%	0%	0%	0%	0%
14	1%	1%	1%	1%	2%
15	1%	1%	1%	2%	2%
16	1%	1%	2%	2%	2%
17	1%	1%	2%	3%	3%
18	1%	1%	2%	2%	3%
19	1%	1%	2%	2%	3%
20	1%	2%	2%	3%	3%
21	2%	2%	4%	4%	5%
22	2%	2%	3%	4%	5%
23	2%	3%	2%	2%	3%
24	3%	4%	3%	3%	4%
25	2%	3%	2%	2%	5%
26	2%	3%	2%	2%	6%
27	2%	2%	1%	1%	6%
28	0%	0%	0%	0%	1%
29	2%	2%	1%	2%	6%
30	2%	2%	1%	2%	6%

En la Figura 16 se observan los perfiles de tensión en cada caso con respecto al sistema cuando no está siendo compensado.

Se identifica una mejoría en las tensiones nodales en cada caso debido a la implementación del SVC en el sistema eléctrico, ya que este

dispositivo mantiene el sistema estable mediante la mejora de los niveles de tensión.

En la Tabla 10 se visualiza el porcentaje de mejora en cada caso: para el caso 1 y caso 2 se observa el mayor porcentaje de mejora en el nodo 24 (óptima ubicación); en el caso 3 y caso 4 existe una mejoría de voltaje en el nodo 21; y, para el caso 5, su mayor porcentaje de mejora en el voltaje es en los nodos 9, 21, 27.

En la Tabla 11 se muestra la comparación de los perfiles de tensión nodales en GAMS y en Digsilent Power Factory lo que demuestra que nuestro sistema es muy confiable ya que la diferencia

5.2.4 Comportamiento Angular del SEP

Además de optimizar los perfiles de tensión nodales, la implementación del SVC ocasiona una mejora en el ángulo del flujo de potencia, dando al sistema una mayor estabilidad angular, lo que ayuda a mantener el sincronismo y, además, a mantener un balance de torques en máquinas sincrónicas.

Los nodos 9, 21 y 24 son los de mejor ubicación en el sistema; en la Figura 17 se observa que su ángulo mejora con respecto al sistema sin ser compensado.

5.2.5 Efectos de la Compensación Reactiva en el SEP

La implementación de los SVC en el sistema ocasiona que el componente reactivo en el flujo de potencia mejore, conllevando a optimizar los perfiles de tensión y a reducir las pérdidas en el sistema. En la Figura 18 se puede ver la mejora de los flujos de potencia reactiva en los nodos del sistemas y en la Figura 19 se muestra la mejora del

componente reactivo en las líneas de transmisión del sistema al implementar los SVC para cada caso; además, se

puede observar la variación de potencia que existe al instalar un equipo de compensación.

Tabla 11. Tabla de resultados escenario 2 sistema 30 barras

NODO	GAMS	DIGS ILEN T	GAMS	DIGSIL ENT	GAMS	DIGSIL ENT	GAMS	DIGSIL ENT	GAMS	DIGSIL ENT	GAMS	DIGSIL ENT
	SIN SVC	CON SVC	SVC 15 MVAR	SVC 15 MVAR	SVC 20 MVAR	SVC 20 MVAR	SVC 25 MVAR	SVC 25 MVAR	SVC 30 MVAR	SVC 30 MVAR	SVC 15,20,25 MVAR	SVC 15,20,25 MVAR
1	1.06	1.06	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060
2	1.04	1.04	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045
3	1.03	1.02	1.032	1.028	1.033	1.029	1.033	1.029	1.033	1.030	1.035	1.031
4	1.02	1.02	1.024	1.021	1.024	1.022	1.025	1.022	1.025	1.023	1.028	1.024
5	1.01	1.01	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
6	1.01	1.01	1.016	1.014	1.016	1.015	1.017	1.015	1.017	1.016	1.021	1.017
7	1.00	1.00	1.005	1.003	1.005	1.003	1.006	1.004	1.006	1.004	1.008	1.005
8	1.01	1.01	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
9	1.02	1.02	1.032	1.032	1.034	1.034	1.039	1.038	1.041	1.041	1.059	1.039
10	1.00	1.00	1.015	1.016	1.019	1.020	1.029	1.029	1.033	1.034	1.042	1.037
11	1.08	1.08	1.082	1.082	1.082	1.082	1.082	1.082	1.082	1.082	1.082	1.082
12	1.02	1.02	1.033	1.032	1.035	1.034	1.036	1.034	1.037	1.036	1.041	1.038
13	1.07	1.07	1.071	1.071	1.071	1.071	1.071	1.071	1.071	1.071	1.071	1.071
14	1.01	1.00	1.018	1.017	1.021	1.020	1.021	1.019	1.023	1.021	1.028	1.025
15	1.00	1.00	1.014	1.014	1.018	1.017	1.017	1.016	1.020	1.018	1.026	1.023
16	1.01	1.01	1.018	1.018	1.021	1.021	1.025	1.025	1.028	1.028	1.034	1.030
17	1.00	1.00	1.011	1.011	1.014	1.014	1.022	1.022	1.027	1.027	1.035	1.029
18	0.99	0.99	1.002	1.002	1.006	1.005	1.009	1.008	1.012	1.012	1.019	1.015
19	0.98	0.98	0.998	0.998	1.002	1.002	1.007	1.007	1.011	1.011	1.019	1.014
20	0.99	0.99	1.001	1.002	1.005	1.005	1.012	1.012	1.016	1.016	1.024	1.019
21	0.99	0.99	1.005	1.006	1.010	1.011	1.026	1.026	1.033	1.033	1.039	1.039
22	0.99	0.99	1.007	1.007	1.012	1.013	1.024	1.024	1.031	1.031	1.037	1.037
23	0.98	0.98	1.007	1.007	1.014	1.013	1.007	1.006	1.010	1.009	1.020	1.018
24	0.97	0.97	1.007	1.007	1.017	1.017	1.001	1.001	1.006	1.006	1.021	1.019
25	0.97	0.97	0.997	0.997	1.004	1.003	0.993	0.992	0.996	0.996	1.030	1.030
26	0.95	0.95	0.979	0.978	0.986	0.985	0.975	0.974	0.978	0.978	1.013	1.012
27	0.98	0.98	0.999	0.999	1.004	1.004	0.997	0.996	0.999	0.998	1.044	1.044
28	1.01	1.00	1.013	1.009	1.014	1.010	1.013	1.010	1.014	1.010	1.021	1.016
29	0.96	0.96	0.977	0.978	0.982	0.983	0.974	0.975	0.977	0.978	1.023	1.025
30	0.94	0.95	0.963	0.967	0.968	0.972	0.961	0.964	0.963	0.966	1.010	1.014

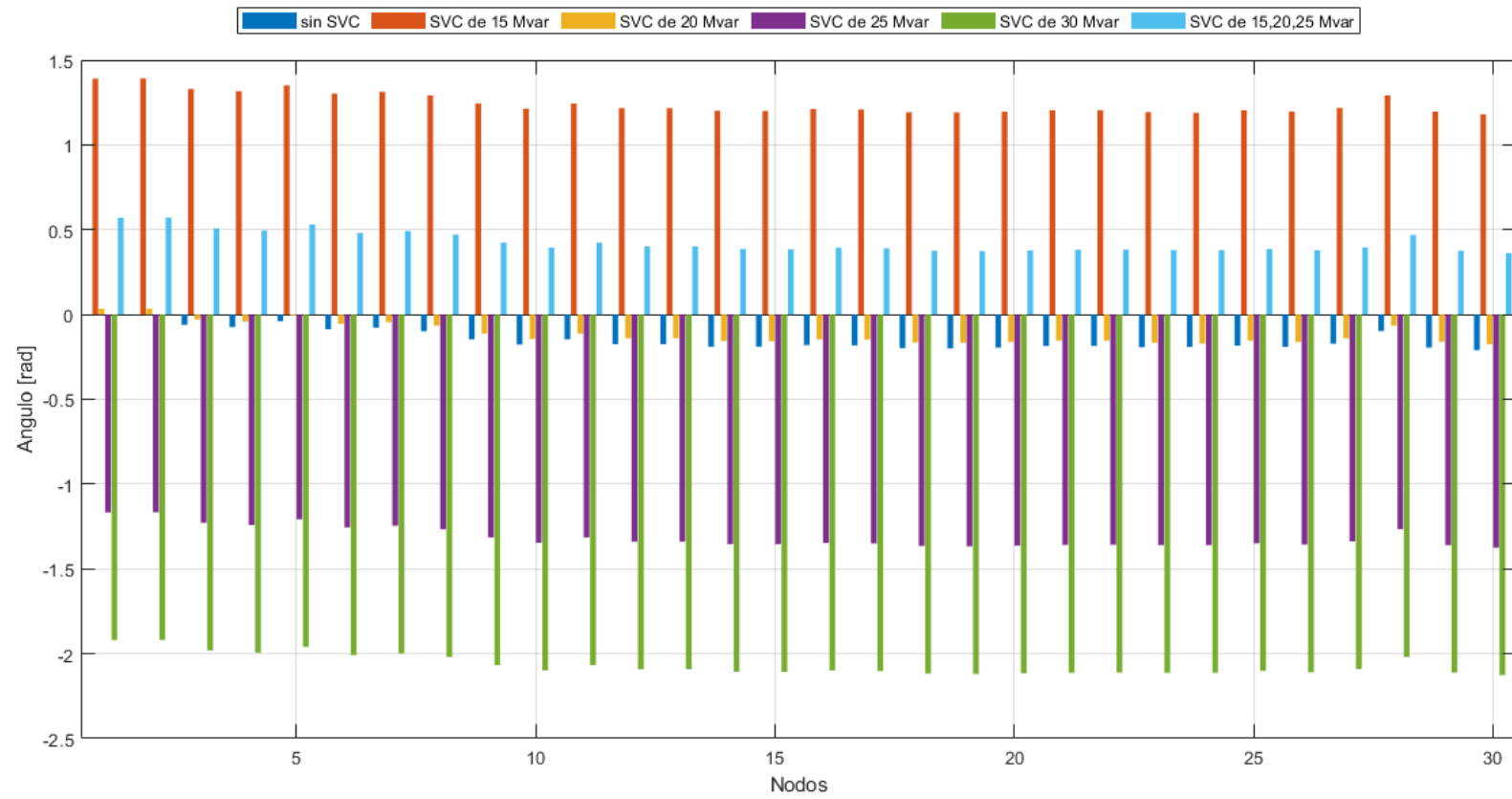


Figura 17. Comportamiento Angular Escenario 2

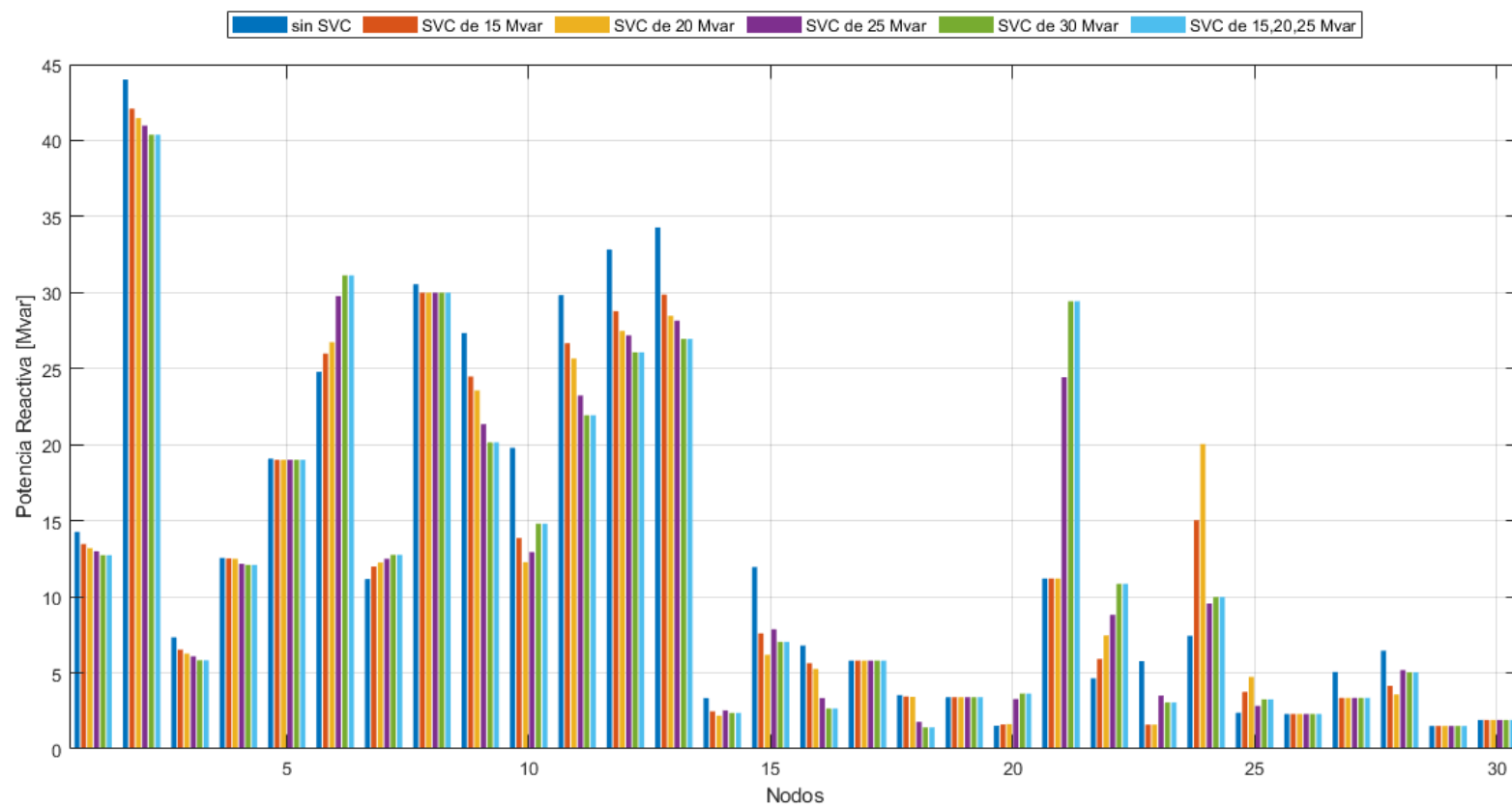


Figura 18. Mejora de Potencia Reactiva en los nodos Escenario 2

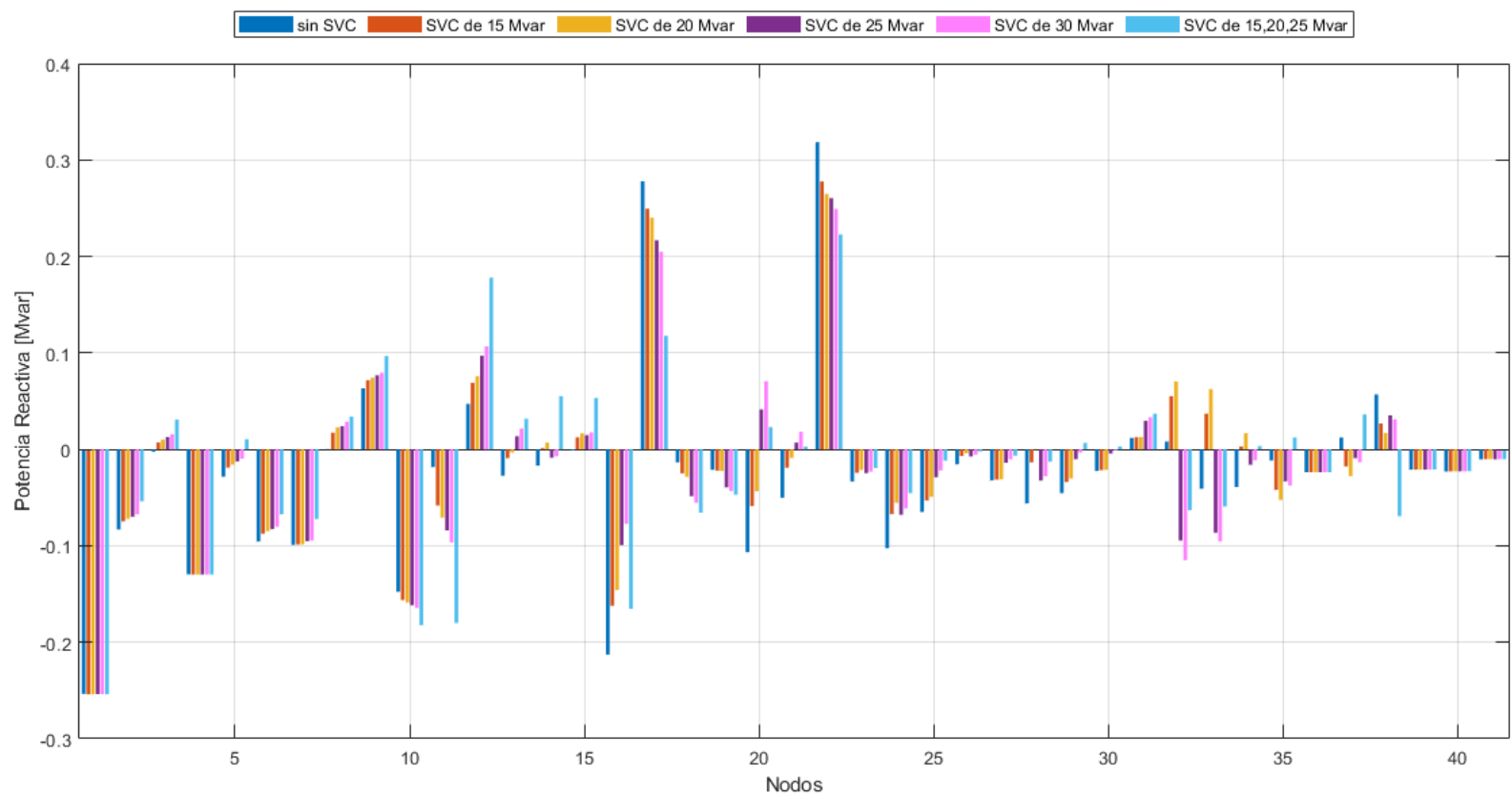


Figura 19. Mejora de Potencia Reactiva en las líneas de transmisión Escenario 2

Tabla 12. Porcentaje de mejora de la Potencia Reactiva

NODO	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
1	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	1%
5	0%	0%	0%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	1%
7	0%	0%	0%	0%	0%
8	0%	0%	0%	0%	0%
9	1%	1%	1%	2%	3%
10	1%	2%	3%	3%	4%
11	0%	0%	0%	0%	0%
12	1%	1%	1%	1%	1%
13	0%	0%	0%	0%	0%
14	1%	1%	1%	1%	2%
15	1%	1%	1%	2%	2%
16	1%	1%	2%	2%	2%
17	1%	1%	2%	3%	3%
18	1%	1%	2%	2%	3%
19	1%	1%	2%	2%	3%
20	1%	2%	2%	3%	3%
21	2%	2%	4%	4%	5%
22	2%	2%	3%	4%	5%
23	2%	3%	2%	2%	3%
24	3%	4%	3%	3%	4%
25	2%	3%	2%	2%	5%
26	2%	3%	2%	2%	6%
27	2%	2%	1%	1%	6%
28	0%	0%	0%	0%	1%
29	2%	2%	1%	2%	6%
30	2%	2%	1%	2%	6%

En la Tabla 12 se puede observar que, al implementar el SVC en el caso 1 y caso 2, existe un mayor porcentaje de mejora de la potencia reactiva en el nodo 24 (seleccionado por el GAMS); para el caso 3 y caso 4 se observa que la potencia reactiva en el nodo 21 aumenta al implementar el SVC de 25 y 30 para sus respectivos casos; y, para el caso 5, aumenta la potencia reactiva en los nodos 9, 21 y 24 ya que nuestro optimizador seleccionó esos nodos para

la ubicación óptima de los SVC de 15, 20 y 25.

5.2.6 Minimización de Costos de Implementación de SVC en el SEP

La minimización de los costos de implementación de los SVC varía de acuerdo a la potencia que se va a implementar en el sistema. En la Tabla 13 y en la Figura 20 se detallan los costos minimizados para la implementación de los SVC. Estos costos son el resultado de minimizar la función de costos de la ecuación (8).

En el caso 5 se tiene el valor más alto porque se implementan tres compensadores, a diferencia de los demás casos, donde solo se aplica un compensador y en el caso 1 se tiene un costo menor, este caso sería el más factible.

Tabla 13. Costos de implementación del SVC en el escenario 2

CASO	Q(MVAR)	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN
	0	444.44
1	15	444.12
2	20	444.18
3	25	444.22
4	30	444.28
5	15,20,25	444.39

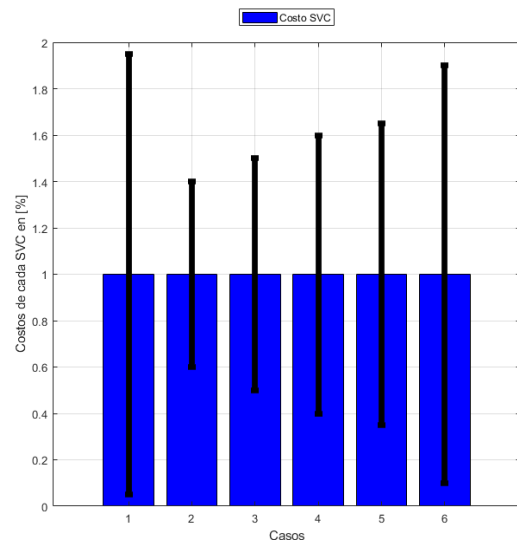


Figura 20. Minimización de Costos de Implementación del SVC Escenario 2

5.2.7 Minimización de Pérdidas de Potencia Activa en el SEP

Los SVC en el sistema optimizan los perfiles de tensión, mejoran la potencia reactiva en los flujos de potencia y reducen las pérdidas en un sistema eléctrico. En la Tabla 14 y en la Figura 21 se pueden observar las disminuciones en cada caso de estudio de este escenario. Estos valores son menores en comparación a cuando no se implementa un SVC, ya que la potencia de compensación es mucho mayor. El caso 5 es el que tiene mayores detrimentos en el sistema y el caso 1 el de menor.

Tabla 14. Pérdidas de Potencia del SVC en el escenario 2

CASO	Q(MVAR)	PÉRDIDAS EN EL SISTEMA
	0	6.240
1	15	6.080
2	20	6.109
3	25	6.130
4	30	6.161
5	15,20,25	6.267

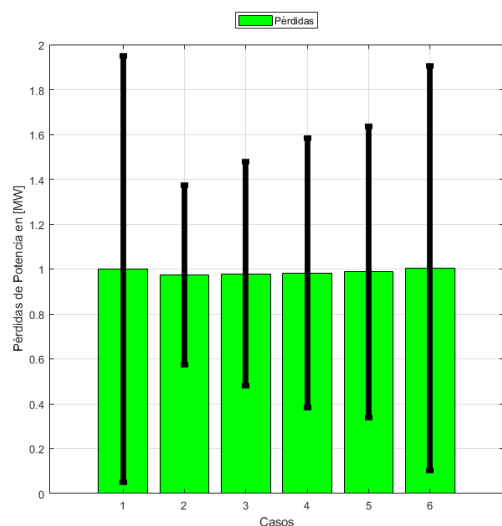


Figura 21. Minimización de Pérdidas en el SEP Escenario 2

6. Conclusiones

En este trabajo se presentó una metodología con la cual se logra la compensación óptima de potencia reactiva mediante un proceso de optimización que minimiza los costos asociados a la implementación de dispositivos de control, lo que ocasiona un incremento de los perfiles de tensión y mayor potencia reactiva reduciendo las pérdidas en el sistema.

La planeación óptima de flujos de potencia reactiva mediante programación no lineal entera mixta es viable para encontrar la ubicación de dispositivos de compensación para este caso SVC, en función de un conjunto de restricciones incluidas en el algoritmo planteado, se encuentra la ubicación óptima en un nodo del sistema, encontrando así el costo de implementación del dispositivo reduciendo las pérdidas del sistema basado en la mejora de perfil de tensión nodal. La simulación fue realizada con un escenario para el sistema de 14 y 30 nodos, en cada escenario se realizó 5 casos de estudio con diferentes capacidades de potencia de compensación, lo que permitió observar que mientras se sigue aumentando la potencia de compensación, el sistema mejora sus perfiles de tensión nodales, esto puede provocar que la ubicación del SVC sea distinta, lo que se debe a que el optimizador busca una solución óptima en función a la capacidad máxima que el dispositivo este compensando y en donde el nodo no cumpla con los niveles aceptables de tensión.

Como resultados de la investigación se puede verificar que los perfiles de tensión mejoraron posterior a la ubicación óptima de los

compensadores, el comportamiento angular, las pérdidas de potencia activa se reducen; lo cual ayuda a mejorar la estabilidad, confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico de transmisión.

Trabajos Futuros

Para el tema de la planeación óptima de potencia reactiva en los sistemas eléctricos de transmisión, se realizó la implementación de compensadores de potencia reactiva mediante técnicas de optimización, con el fin de encontrar la ubicación óptima de estos dispositivos. Este tema es la base para trabajos futuros en donde además de realizar la ubicación se podría sugerir realizar una expansión del sistema de transmisión eléctrico con el objetivo que el sistema pueda ser más robusto y confiable. Para mejorar el algoritmo se puede recomendar:

- Realizar una investigación de otros métodos que puedan brindar soluciones a problemas no lineales.
- Se recomienda verificar el nivel de armónico ocasionados por la conmutación de los dispositivos electrónicos existentes en los SEP.

7. Referencias

- [1] C. A. Moreno Pérez Y J. P. Muñoz Pilco, «Ubicación Óptima De Svcs En Sistemas Eléctricos De Transmisión Para La Compensación De Potencia Reactiva Basada En Programación No Lineal Entera Mixta,» Universidad Politécnica Salesiana , Quito , 2018.
- [2] N. E. Gómez Ramirez , «Metodología De Gestión De Potencia Reactiva Para Mejorar El Margen De Estabilidad De Voltaje En Sistemas Eléctricos De Potencia Decentralizados,» Universidad Nacional De Colombia, Medellin, 2014.
- [3] Á. . L. Trigo García, «Gestión Óptima De Potencia Reactiva en Sistemas Abiertos A La Competencia,» Universidad De Sevilla , Sevilla , 2010.
- [4] Mohammed Tuaimah, J. Mohanad Azeez Y I. Ibraheem Kasim, «Power Transmission System Midpoint Voltage Fixation Using Svc With Genetic Tuned Simple Pid Controller,» University Of Baghdad, College Of Engineering, Bagdad, 2019.
- [5] M. Alonso Martinez , «Gestión Óptima De Potencia reactiva En Sistemas Eléctricos Con Generación Eólica,» Universidad Carlos Iii De Madrid, Leganés, 2010.
- [6] K. Y. Xiaomin Bai Lee Y Y. M. Park, «Optimization Method For Reactive Power Planning By Using A Modified Simple Genetic Algorithm,» *Ieee Transactions On Power Systems*, Vol. 10, Nº 4, Pp. 1843-1850, 1995.
- [7] J. A. Hernandez Galicia , «Planificación De La Compensación Reactiva Mediante Programación Evolutiva,» Universidad Autónoma De Nuevo León, Monterrey, 2000.
- [8] M. A. Abido , «Multiobjective Optimal Var Dispatch Using Strength Pareto Evolutionary Algorithm,» De 2006 *Ieee*

- Congress On Evolutionary Computation*, Vancouver, 2006.
- [9] P. A. Achig Santamaria, «Compensación Óptima De Potencia Reactiva En Sistemas Eléctricos De Transmisión Mediante Búsqueda Armónica,» Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, 2019.
- [10] D. Borges Vasconcellos, I. Pérez Abril, A. González Digón Y H. Iglesias García, «Compensación De La Potencia Reactiva En Sistemas De Baja Tensión Mediante Bancos De Condensadores Fijos, Utilizando Algoritmos Genéticos,» *Dialnet*, Vol. 31, Nº 3, Pp. 56-61, 2010.
- [11] Tao Ding, Rui Bo, Fangxing Li Y Hongbin Sun, «Optimal Power Flow With The Consideration Of Flexible Transmission Line Impedance,» *Ieee Transactions On Power Systems*, Vol. 31, Nº 2, Pp. 1655-1656, 2015.
- [12] Mahmoud Moghavvemi Y M. Faruque, «Effects Of Facts Devices On Static Voltage Stability,» *De Effects Of Facts Devices On Static Voltage Stability*, Malaya , 2000.
- [13] .. M. M.W, A. Kharuddin Y I. R. Mohamad , «2009 Australasian Universities Power Engineering Conference,» *De Optimal Choice Of Facts Devices For Atc Enhancement Using Bees Algorithm*, Adelaide-Australia, 2009.
- [14] M. Moghavvemi Y M. O. Faruque, «Effects Of Facts Devices On Static Voltage Stability,» *In 2000 Tencon Proceedings. Intelligent Systems And Technologies For The New Millennium*, Vol. 2, P. 357–362..
- [15] M. Moghavvemi Y M. O. Faruque, «Effects Of Facts Devices On Static Voltage Stability,» *In 2000 Tencon Proceedings Intelligent Systems And Technologies For The New Millennium* (, Vol. 2, P. 357–362..
- [16] R. Sirjani, A. Mohamed Y H. Shareef, «A Hybrid Bco / Hs Algorithm For Optimal Placement And Sizing Of Static Var Compensators In Power Systems,» *Científica Ing. Energética*, Vol. 36, Nº 1, P. 54–59, 2015.
- [17] «Implementación De Modelos De Control De Los Svc En El Programa Psx; Implementation Of Svc Models In Programs Psx.,» *Científica Ing. Energética*, Vol. 36, Nº 1, P. 6171, 2015.
- [18] R. Sirjani, A. Mohamed, And H. Shareef, “, «A Hybrid Bco/Hs Algorithm For Optimal Placement And Sizing Of Static Var Compensators In Power Systems,” ... *Syst. Sci. Simul.*, Nº 7, P. 214–218, 2011.
- [19] C. A. Moreno Pérez, «Ubicación Óptima De Svcs En Sistemas Eléctricos De Transmisión Para La Compensación De Potencia Reactiva Basada En Programación No Lineal Entera Mixta,» Vol. 1, Pp. 1-37, 2018.
- [20] A. Vijayan Y S. Padma,, *Maintaining Voltage Stability In Power System Using Facts Devices,* *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, Vol. 2, Nº 2, P. 20–25, 2013.
- [21] P. Borse,“ Y A. G. Thosar, «Modeling And Simulation Of Statcom,» *Int. J. Eng. Res. Technol.*,» Vol. 3, Nº 12, P. 200–203, 2014.

- [22] C. Alejandro, D. Duarte, A. M. Ramos, M. D. E. L. , «Modelación De Un Compensadorestático Para El Control De Generación Distribuida Con Energías Renovable,» 2009.
- [23] M. M. Eissa, T. S. Abdel-Hameed, And H. Gabbar,, «A Novel Approach For Optimum Allocation Of Flexible Ac Transmission Systems Using Harmony Search Technique,» Ieee Int. Conf. Smart Energy Grid Eng. Sege 2013, 2016.
- [24] E. Ghahremani And I. Kamwa, “, «Optimal Placement Of Multiple-Type Facts Devices To Maximize Power System Loadability Using A Generic Graphical User Interface,” Ieee Trans. Power Syst.,» Vols. %1 De %2vol. 28,, N° 2, P. 764–778, 2013.
- [25] J. A. Momoh And S. S. Reddy, , «Optimal Location Of Facts For Atc Enhancement,» *Ieee Power Energy Soc. Gen. Meet., Vol. 2014-October, No. October*, 2014.
- [26] M. A. Borja Maldonado, «Selección Óptima De Unidades, Utilizando Programación Entera,» Escuela Politécnica Naiconal , Quito , 1983.
- [27] R. Sirjani, A. Mohamed, And H. Shareef, «Optimal Allocation Of Shunt Var Compensators In Power Systems Using A Novel Global Harmony Search Algorithm,» *Int. J. Electr. Power Energy Syst*, Vol. 43, N° 1, P. 562–572 , 2012.
- [28] J. C. P. Buezo, «Despacho Óptimo De Potencia Reactiva En Un Sistema Eléctrico De Potencia Por Medio De Programación No Lineal,» Vol. 1, N° 38, P. 1–123, 2005.
- [29] D. Universidad Carlos Iii De Madrid Dept. Ingeniería Eléctrica, Samos, “, *Máquinas Eléctricas De Corriente Alterna*, Vol. 1, Pp. 1-41, 2008.
- [30] T. Akbari And M. Tavakoli Bina, , «Linear Approximated Formulation Of Ac Optimal Power Flow Using Binary Discretisation,» *Iet Gener. Transm. Distrib*, Vol. 10, N° 5, Pp. 1117-1123, 2016.
- [31] O. E. C. H. Alfonso Alzate G., John Asdrubal Herre, «Efecto De Un Compensador De Var Estatico En El Amortiguamiento De Las Oscilaciones,» Vol. 1, Pp. 1-5, 2003.
- [32] S. D. E. Potencia, A. A. G, I. Electricista, M. Sc, «Effects Of A Static Synchronous Series Compensator (Sssc) On A Power System,» N° 37, Pp. 19-24, 2007.
- [33] C. E. A. L. D. E. Transmission, «Capacitores Serie En Líneas De Transmisión 2. Compensacion En Lineas De Transmision.,» Pp. 24-42.
- [34] C. Jos And C. Gonz, “, «Compensadores Estáticos De Potencia Reactiva (Svc),» *Compensador Estatico Potencia React. Svc*, 2003.
- [35] Jimenez Valdés Javier, *Efectos De Los Compensadores De Reactivos De Sistemas De Excitacion En El Control De Voltaje-Potencia Reactiva De Sistemas Electricos De Potencia*, 2010.
- [36] D. J. A. G. C. D. . Z. G. S. Grettel Quintana De Basterra, “*Implementación De Modelos De Control De Los Svc En El*

- Programa Psx*, Vol. 36, Pp. 1-9, 2015.
- [37] X.-P. Zhang, “, «Electric Power System Analysis, Operation And Control,» Vol. 3, Pp. 1-10, 2015.
- [38] M. Bachtiar, A. Arief, And R. C. Bansal, “, «Transmission Management For Congested Power System: A Review Of Concepts , Technical Challenges And Development Of A New Methodology,,» *Renew. Sustain. Energy Rev*, Vol. 38, Pp. 572-580, 2014.
- [39] M. Poonia, R. Jaiswal, And A. Bhardwaj, , “*Investigation Of Transmission Expansion Planning Using Genetic Algorithm*, Vol. 3, N° 2, P. 729–735, 2014.
- [40] A. Centeno, D. Rey, And J. Mart,, *Optimizador De Enjambre Modificado Aplicado Al C ´ Alculo Del Flujo De ´ Ptimo En Redes El ´ Carga O Ectricas De Potencia Con Variables De Control Mixtas Y Funci ´ On De Costos De Generaci ´ On No Convexa . Modified Parti*.
- [41] L. Muñoz And P. Quezada, «Flujo Óptimo De Potencia Dc Considerando Restricciones Por Congestión Y Pérdidas En Las Líneas Para Resolución De Problemas De Despacho Económico,» Pp. 1-47, 2015.
- [42] “. G. A. Y. Gutierrez, «Optimización De La Expansión De Los Sistemas De Transmisión Usando Gams,» Vol. 1, Pp. 1-19, 2015.
- [43] A. R. Al-Roomi, *Depósito De Sistemas De Prueba De Flujo De Energía,*” Halifax, Nueva Escocia, Canadá, *Universidad Dalhousie, Ing. Eléctrica E Informático*, Vol. 9, N° 1, 2015.
- [44] Y. W. M. Shahidehpour, *Ieee-30 Bus System Data A,*” *Append. A, Ieee-30 Bus Syst. Data*, Vol. 145, P. 1, 2016.
- [45] Y. W. Mohammad Shahidehpour, “*Ieee-30 Bus System Data C,*” *Append. C, Ieee-30 Bus Syst. Data.*, Vol. 1, Pp. 493-495, 2003.
- [46] “. D. F. Carrión Galarza And J. W. González Sánchez, «Ubicación Óptima De Pmu Considerando Restricciones De Contingencias N-1 En Sistemas Eléctricos De Potencia,» *Enfoque Ute*, Vol. 10, N° 1, Pp. 1-2, 2019.

8. Estado del Arte

	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA						PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA									
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
1	2009	OPTIMAL SVC PLACEMENT IN ELECTRIC POWER SYSTEMS USING A GENETIC ALGORITHMS BASED METHOD	Rumani a	12	✗	✗	□	✗	□	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	✗	✗	
2	2009	REACTIVE COMPENSATION NEEDS FOR SUPERCONDUCTING TRANSMISSION SYSTEMS	USA	6	✗	□	□	✗	□	✗	✗	□	□	✗	✗	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗
3	2006	OPTIMAL STATCOM SIZING AND PLACEMENT USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION	India	33	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	✗	□	□	□	□
4	1993	VOLTAGE STABILITY ANALYSIS USING CONVENTIONAL METHODS	India	20	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□

DATOS		TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA													
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
5	1982	STATIC REACTIVE COMPENSATION FOR POWER TRANSMISSION SYSTEMS	India	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2017	COST OPTIMIZATION OF A HYBRID ENERGY STORAGE SYSTEM	India	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	2017	UBICACIÓN ÓPTIMA DE DISPOSITIVOS FACTS EN REDES ELÉCTRICAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE BÚSQUEDA INTELIGENTE	Ecuador	27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	2016	OPTIMAL LOCATION IDENTIFICATION OF FACTS DEVICES THROUGH GENETIC ALGORITHM AND THE NETWORK STRUCTURAL TECHNIQUES	Reino Unido	26	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DATOS		TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA												
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
9	2016	IMPLEMENTATION OF IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM FOR OPTIMAL ALLOCATION OF FACTS DEVICES TO ENHANCE THE POWER SYSTEM PERFORMANC E	India	15	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	✗	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗
10	2016	OPTIMAL ALLOCATION OF DISTRIBUTED GENERATION (DGS) AND STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) IN A POWER SYSTEM USING REVAMP VOLTAGE STABILITY INDICATOR	India	14	✗	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2014	OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF SVC BY USING VARIOUS META-HEURISTIC OPTIMIZATIO N METHODS	Indonesia	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	✗	<input type="checkbox"/>	✗	✗	✗	✗	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	✗	✗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DATOS		TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA												
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP
12	2014	APPLICATION OF MIN CUT ALGORITHM FOR OPTIMAL LOCATION OF FACTS DEVICES CONSIDERING SYSTEM LOADABILITY AND COST OF INSTALLATION	USA	26	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐
13	2014	APPLICATIONS OF FLEXIBLE AC TRANSMISSIONS SYSTEM (FACTS) TECHNOLOGY IN SMARTGRID AND ITS EMC IMPACT	USA	7	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐
14	2014	CONGESTION MANAGEMENT BY DETERMINING OPTIMAL LOCATION OF SERIES FACTS DEVICES USING HYBRID BACTERIAL FORAGING AND NELDER MEAD ALGORITHM	Irán	28	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐

	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA									
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP
15	2013	A QUADRATIC PROGRAMMING OPTIMIZATION FOR DYNAMIC ECONOMIC LOAD DISPATCH: COMPARISON WITH GAMS	Argelia	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2018	ASSET MANAGEMENT STRATEGIES FOR POWER ELECTRONIC CONVERTERS IN TRANSMISSION NETWORKS: APPLICATION TO HVDC AND FACTS DEVICES	Gales	142	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	2018	STATE-OF-THE-ART ON THE PROTECTION OF FACTS COMPENSATED HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINES: A REVIEW	India	133	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2017	TRANSIENT STABILITY ENHANCEMENT AND	Argelia	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

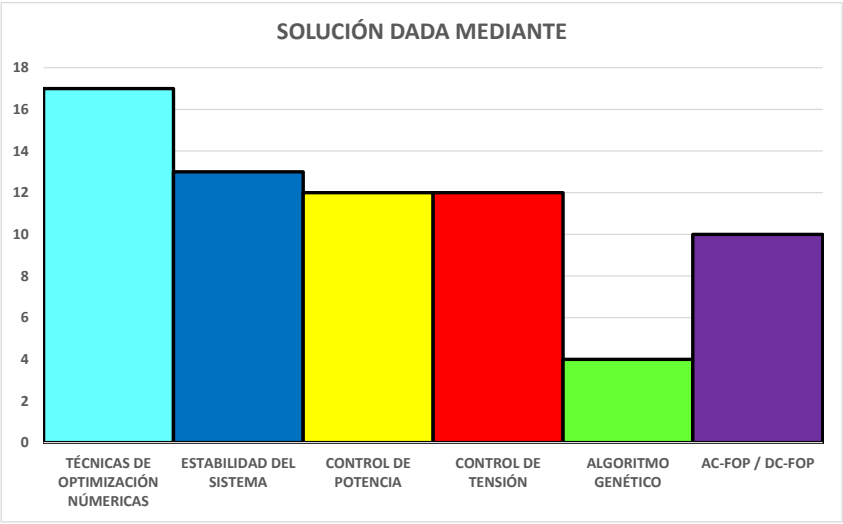
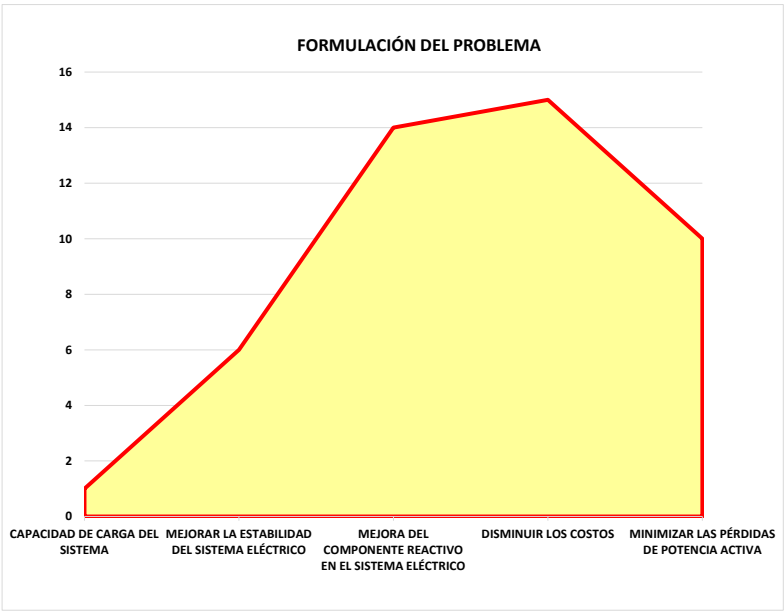
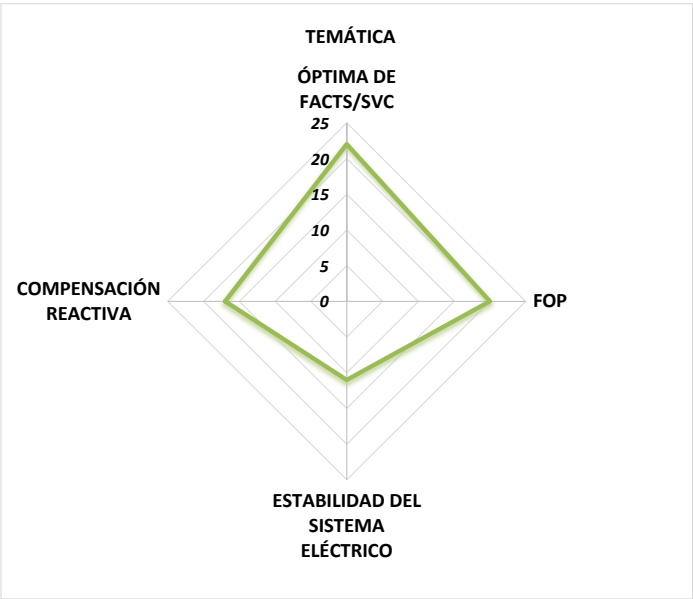
	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA										
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
		VOLTAGE REGULATION IN SMIB POWER SYSTEM USING SVC WITH PI CONTROLLER																														
19	2017	LOCALIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE DISPOSITIVOS SVC PARA LA COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA EN SEP	Ecuador	39	✗	✗	□	✗	□	□	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	✗	□	□	✗	✗	□	□	□	□	
20	2017	OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF FACTS DEVICE TO OVERCOME CONTINGENCIES IN POWER SYSTEMS	India	20	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□	□	□	□	□
21	2016	MODELLING AND SIMULATION OFIMPACT OFSVC ON DISTANCE PROTECTION OF EHV TRANSMISSIO N LINE	India	11	✗	✗	□	□	□	□	✗	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	✗	□	✗	

	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA								
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP
22	2015	APPROACH FOR THE SOLUTION OF TRANSMISSION CONGESTION WITH MULTI-TYPE FACTS DEVICES	India	25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2015	OPTIMAL LOCATION AND SIZING OF SVC CONSIDERING TRANSMISSION LOSS AND INSTALLATION COST USING TLBO	India	19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	2015	OPTIMAL LOCATION AND SIZE OF SVC FOR POWER LOSSES MINIMIZATION AND VOLTAGE SECURITY IMPROVEMENT	Rumani a	24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2015	MODELLING AND SIMULATION OF STATCOM & SVC	Malsia	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA											
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA/ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHEURÍSTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
26	2014	STEADY STATE VOLTAGE STABILITY ENHANCEMENT OF POWER SYSTEM USING FACTS DEVICES	India	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	2013	SIMULTANEOUS OPTIMAL PLACEMENT AND PARAMETER-TUNING OF SVC, TCSC AND PSS USING HONEY-BEE MATING	China	13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	2011	OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF STATIC VAR COMPENSATORS IN POWER SYSTEMS USING IMPROVED HARMONY SEARCH ALGORITHM	Indonesia	20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	2017	LOCATION OF MULTI-TYPE FACTS DEVICES UNDER CONTINGENCY: AN	India	19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DATOS		TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA					PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA													
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAIS	CITAS	UBICACIÓN ÓPTIMA DE FACTS/SVC	FOP	ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	COMPENSACIÓN REACTIVA	CAPACIDAD DE CARGA DEL SISTEMA	MEJORAR LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO	MEJORA DEL COMPONENTE REACTIVO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	DISMINUIR LOS COSTOS	MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA	POTENCIA DE GENERACIÓN ACTIVA Y REACTIVA	FLUJO DE POTENCIA	LIMITACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	LIMITACIÓN DE LOS VOLTAJES EN LAS BARRAS	LIMITACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE EN LAS BARRAS	CAPACIDAD SVC	TÉCNICAS COMPUTACIONALES	HEURÍSTICA	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN	METAHURISTICA	IMPLEMENTACIÓN	TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN NUMÉRICAS	ESTABILIDAD DEL SISTEMA	CONTROL DE POTENCIA	CONTROL DE TENSIÓN	ALGORITMO GENÉTICO	AC-FOP / DC-FOP	
		INTELLIGENT APPROACH USING MODIFIED ABC																														
30	2017	IMPROVING VOLTAGE STABILITY OF POWER SYSTEM USING FACTS DEVICE	India	133	✗	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	✗	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	✗
31	2017	OPTIMAL PLACEMENT OF STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) IN POWER SYSTEM ALONG WITH WIND POWER GENERATION	India	12	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	✗	✗	□	□	
32	2017	FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA REACTIVA BASADO EN ÓPTIMO DESPACHO DE CARGA USANDO GAMS	Ecuador	16	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	✗	□	□	✗	✗	□	✗	✗	✗	
				CANTIDAD:	22	20	11	17	1	6	14	15	10	23	27	6	17	17	1	1	10	3	8	3	2	17	13	12	12	4	10	

8.1 Resumen e Indicadores



9. Anexo

Anexo 1 Datos Técnicos del Sistema de 14 Barras de la IEEE

Tabla 15. Niveles de voltaje en las barras del sistema

NODO	VOLTAJE(KV)
1-5	13.2
6,9	14.33
7	1
8	11

Tabla 16. Valores de la carga del sistema

NODO	P(MW)	Q(MVAR)
1	0	0
2	21.7	12.7
3	94.2	19
4	47.8	-3.9
5	7.6	1.6
6	11.2	7.5
7	0	0
8	0	0
9	29.5	16.6
10	9	5.8
11	3.5	1.8
12	6.1	1.6
13	13.8	5.8
14	14.9	5

Tabla 17. Datos de los transformadores del sistema

TRANSFORMADOR	NINI	NFIN	S(MVA)
1	4	7	100
2	4	9	100
3	5	6	100
4	7	8	100
5	7	9	100

Tabla 18. Datos de los generadores del sistema

TRANSFORMADOR	NODO	P _{MAX} (MW)	Q _{MAX} (MVAR)
G1	1	400	240
G2	2	80	60
G3	3	80	60
G4	6	80	60
G5	8	80	60

Tabla 19. Datos de las líneas del sistema

NODO	NINI	NFIN	R(pu)	X(pu)	B(pu)
L1	1	2	0.01938	0.05917	0.0264
L2	1	5	0.05403	0.22304	0.0246
L3	2	3	0.04699	0.19797	0.0219
L4	2	4	0.05811	0.17632	0.0187
L5	2	5	0.05695	0.17388	0.017
L6	3	4	0.06701	0.17103	0.0173
L7	4	5	0.01335	0.04211	0.0064
L8	4	7	0	0.20912	0
L9	4	9	0	0.55618	0
L10	5	6	0	0.25202	0
L11	6	11	0.09498	0.1989	0
L12	6	12	0.12291	0.25581	0
L13	6	13	0.06615	0.13027	0
L14	7	8	0	0.17615	0
L15	7	9	0	0.11001	0
L16	9	10	0.03181	0.0845	0
L17	9	14	0.12711	0.27038	0
L18	10	11	0.08205	0.19207	0
L19	12	13	0.22092	0.19988	0
L20	13	14	0.17093	0.34802	0

Anexo 2 Datos Técnicos del Sistema de 30 Barras de la IEEE

Tabla 20. Valores de la carga del sistema

NODO	P(MW)	Q(MVAR)
1	0	0
2	21.7	12.7
3	2.4	1.2
4	7.6	1.6
5	94.2	19
6	0	0
7	22.8	10.9
8	30	30
9	0	0
10	5.8	2
11	0	0
12	11.2	7.5
13	0	0
14	6.2	1.6
15	8.2	2.5
16	3.5	1.8
17	9	5.8
18	3.2	0.9
19	9.5	3.4
20	2.2	0.7
21	17.5	11.2
22	0	0
23	3.2	1.6
24	8.7	6.7
25	0	0
26	3.5	2.3
27	0	0
28	0	0
29	2.4	0.9
30	10.6	2.9

Tabla 21. Niveles de voltaje en las barras del sistema

NODO	VOLTAJE(KV)
1-8,28	132
9	1
10,12,14-21,29,30	33
11,13	11

Tabla 22. Datos de los transformadores del sistema

TRANSFORMADOR	NINI	NFIN	S(MVA)
1	6	9	400
2	6	10	100
3	9	11	100
4	9	10	100
5	4	12	100
6	12	13	100
7	28	27	100

Tabla 23. Datos de los generadores del sistema

TRANSFORMADOR	NODO	P _{MAX} (MW)	Q _{MAX} (MVAR)
G1	1	360	300
G2	2	140	100
G3	5	100	80
G4	8	300	80
G5	11	300	50
G6	13	300	50

Tabla 24. Datos de las Líneas del Sistema

NODO	NINI	NFIN	R(pu)	X(pu)	B(pu)
L1	1	2	0.0192	0.0575	0.0528
L2	1	3	0.0452	0.1652	0.0408
L3	2	4	0.057	0.1737	0.0368
L4	3	4	0.0132	0.0379	0.0084
L5	2	5	0.0472	0.1983	0.0418
L6	2	6	0.0581	0.1763	0.0374
L7	4	6	0.0119	0.0414	0.009
L8	5	7	0.046	0.116	0.0204
L9	6	7	0.0267	0.082	0.017
L10	6	8	0.012	0.042	0.009
L11	6	9	0	0.208	0
L12	6	10	0	0.556	0
L13	9	11	0	0.208	0
L14	9	10	0	0.11	0
L15	4	12	0	0.256	0
L16	12	13	0	0.14	0
L17	12	14	0.1231	0.2559	0
L18	12	15	0.0662	0.1304	0
L19	12	16	0.0945	0.1987	0
L19	14	15	0.221	0.1997	0
L20	16	17	0.0524	0.1923	0
L21	15	18	0.1073	0.2185	0
L22	18	19	0.0639	0.1292	0
L23	19	20	0.034	0.068	0
L24	10	20	0.0936	0.209	0
L25	10	17	0.0324	0.0845	0
L26	10	21	0.0348	0.0749	0
L27	10	22	0.0727	0.1499	0
L28	21	22	0.0116	0.0236	0
L29	15	23	0.1	0.202	0
L30	22	24	0.115	0.179	0
L31	23	24	0.132	0.27	0
L32	24	25	0.1885	0.3292	0
L33	25	26	0.2544	0.38	0
L34	25	27	0.1093	0.2087	0
L35	28	27	0	0.396	0
L36	27	29	0.2198	0.4153	0
L37	27	30	0.3202	0.6027	0
L38	29	30	0.2399	0.4533	0
L39	8	28	0.0636	0.2	0.0428
L40	6	28	0.0169	0.0599	0.013
L41	1	2	0.0192	0.0575	0.0528